



Vestnik of Geosciences **Вестник геонаук**

Июль
July
2023,
№ 7 (343)

Журнал издается под научно-методическим руководством Отделения наук о Земле РАН
The journal is published under the research and methodological guidance of the RAS Department of Earth Sciences

Главный редактор А. М. Асхабов

Зам. главного редактора И. Н. Бурцев

Зам. главного редактора О. Б. Котова

Ответственный секретарь И. В. Козырева

Chief Editor A. M. Askhabov

Deputy Chief Editor I. N. Burtsev

Deputy Chief Editor O. B. Kotova

Executive Secretary I. V. Kozyreva

Редакционный совет

Л. Н. Андриичева, Сыктывкар, Россия
А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия
Т. М. Безносова, Сыктывкар, Россия
М. А. Богдасаров, Брест, Беларусь
М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия
Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия
Ю. Л. Войтеховский, Апатиты, Россия
А. Д. Гвишиани, Москва, Россия
В. А. Жемчугова, Москва, Россия
А. В. Журавлев, Сыктывкар, Россия
В. А. Каширцев, Новосибирск, Россия
М. Комак, Любляна, Словения
С. В. Кривовичев, Санкт-Петербург, Россия
С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия
М. Мартинс, Ору-Прету, Бразилия
Т. П. Майорова, Сыктывкар, Россия
П. Мянник, Таллин, Эстония
А. И. Николаев, Апатиты, Россия
Б. М. Осовецкий, Пермь, Россия
Ю. Ф. Патраков, Кемерово, Россия
И. В. Пеков, Москва, Россия
Д. В. Пономарев, Сыктывкар, Россия
В. Н. Пучков, Екатеринбург, Россия
Д. Ю. Пуцаровский, Москва, Россия
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
Ш. Сан, Мянъян, Китай
К. М. Соджа, Гамильтон, Нью-Йорк, США
О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия
А. Г. Шеломенцев, Екатеринбург, Россия

Технический редактор Г. Н. Каблис

Заведующий редакцией Т. А. Некучаева

Editorial Board

L. N. Andreicheva, Syktyvkar, Russia
A. I. Antoshkina, Syktyvkar, Russia
T. M. Beznosova, Syktyvkar, Russia
M. A. Bogdasarov, Brest, Belarus
M. A. T. M. Broeckmans, Trondheim, Norway
D. A. Bushnev, Syktyvkar, Russia
Yu. L. Voytekhovsky, Apatity, Russia
A. D. Gvishiani, Moscow, Russia
V. A. Zhemchugova, Moscow, Russia
A. V. Zhuravlev, Syktyvkar, Russia
V. A. Kashirtcev, Novosibirsk, Russia
M. Komac, Ljubljana, Slovenia
S. V. Krivovichev, St. Petersburg, Russia
S. K. Kuznetsov, Syktyvkar, Russia
M. Martins, Ouro Preto, Brazil
T. P. Mayorova, Syktyvkar, Russia
P. Männik, Tallinn, Estonia
A. I. Nikolaev, Apatity, Russia
B. V. Osovetsky, Perm, Russia
Yu. F. Patrakov, Kemerovo, Russia
I. V. Pekov, Moscow, Russia
D. V. Ponomarev, Syktyvkar, Russia
V. N. Puchkov, Yekaterinburg, Russia
D. Yu. Pushcharovsky, Moscow, Russia
A. M. Pystin, Syktyvkar, Russia
Sh. Sun, Mianyang, China
C. M. Soja, Hamilton, NY, USA
O. V. Udoratina, Syktyvkar, Russia
M. A. Fedonkin, Moscow, Russia
A. G. Shelomentsev, Ekaterinburg, Russia

Technical Editor G. N. Kablis

Managing Editor T. A. Nekuchaeva

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит ежемесячно. Основан в 1995 году
академиком Н. П. Юшкиным.

Предыдущее название:

Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ журнала (2021) – 0.407



SCIENTIFIC JOURNAL

Monthly issued. Founded in 1995
by Academician N. P. Yushkin.

Former title:

Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS

Five-year RSCI
impact factor (2021) – 0.407

geo.komisc.ru/vestnik

Содержание

Content

Научные статьи

Scientific articles

Состояние изученности и корреляционный потенциал раннекаменноугольных брахиопод западного склона севера Урала
А. В. Ерофеевский3

State of knowledge and correlation potential of Mississippian brachiopods of the western slope of the northern Urals
A. V. Erofeevsky.....3

Монацит щелочных рудных метасоматитов Нижнемезенского рудного поля (Средний Тиман): Th-U-Pb-данные
О. В. Удоратина, А. А. Вирюс, И. В. Козырева 17

Monazite of alkaline ore metasomatites of the Lower Mezen ore field (Middle Timan): Th-U-Pb-data
O. V. Udoratina, A. A. Viryus, I. V. Kozyreva 17

Литолого-генетическая характеристика верхнетриасовых дальнегорских известняков Таухинского террейна (гора Сахарная, Сихотэ-Алинь)
Т. А. Пунина, Е. Н. Малышева 27

Lithological and genetic characteristics of the Upper Triassic Dalnegorsk limestones of the Taukhinsky terrane (Sakharnaya mountain, Sikhote-Alin)
T. A. Punina, E. N. Malysheva 27

Катодолюминесценция конодонтовых элементов
А. В. Журавлев 36

Cathodoluminescence of conodont elements
A. V. Zhuravlev..... 36

Моделирование нисходящего переноса ^{210}Pb на примере естественного торфяника Иласского болотного массива Европейской Субарктики России: модель IP-CRS
Е. Ю. Яковлев, А. А. Кудрявцева, А. С. Орлов 43

Modelling ^{210}Pb downward transport in a natural peatland of Ilassky swamp massif in the European Subarctic of Russia: IP-CRS model
E. U. Yakovlev, A. A. Kudryavtseva, A. S. Orlov 43

Хроника, события, факты. История науки

Chronicle, events, facts. History of Science

Произведения живописи в стенах Института геологии...52

Paintings within the walls of the Institute of Geology 52

32-я Всероссийская научная конференция «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента».....56

The 32nd All-Russian Scientific Conference "Structure, substance, history of lithosphere of the Timan-Northern Ural segment"56

Правила
оформления
статей



Vestnik
article
Formatting



Состояние изученности и корреляционный потенциал раннекаменноугольных брахиопод западного склона севера Урала

А. В. Ерофеевский

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; erofeevsky1@gmail.com

В статье представлена краткая история исследований раннекаменноугольных брахиопод севера Урала за последние 175 лет. Огромный вклад в изучение брахиопод нижнего карбона внесли работы А. Кейзерлинга, Г. Н. Фредерикса, Н. В. Калашникова, Н. В. Енокян, Н. Н. Фотиевой, Д. В. Наливкина и других исследователей. Наибольшая активность изучения североуральских брахиопод приходится на 60–70 гг. прошлого столетия и в основном связана с работами Н. В. Калашникова. Несмотря на длительную историю изучения этой группы фауны в регионе, до сих пор остаются малоизученными брахиоподы южной части гряды Чернышева, а также бассейнов рек Вуктыл, Большая Надота, Харута и Косью. Рассмотрены современные методики и последние достижения в области исследований брахиопод в России и остальном мире. С учётом произошедших за последние 30 лет изменений в систематике брахиопод и стратиграфии нижнего карбона сделан вывод в необходимости обновления данных о таксономическом составе и стратиграфическом распространении брахиопод в североуральском регионе.

Ключевые слова: брахиоподы, север Урала, нижний карбон, история науки.

State of knowledge and correlation potential of Mississippian brachiopods of the western slope of the northern Urals

A. V. Erofeevsky

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The article presents a brief history of Mississippian brachiopod studies in the North of the Urals during the last 175 years. The regional stratigraphic chart of the Western Urals subregion was originally developed on the basis of brachiopod biostratigraphy. The works of A. Keyserling, G. N. Fredericks, N. V. Kalashnikov, N. V. Enokyan, N. N. Fotieva, D. V. Nalivkin, and other researchers have greatly contributed to the study of the Mississippian brachiopods of the region. The most active use of the North Urals brachiopods for the biostratigraphy of the region falls in the 60–70s of the last century and is mainly connected with the works of N. V. Kalashnikov. However, brachiopods are hardly studied in the southern part of the Tchernyshev Swell and in basins of the Vuktyl, Bolshaya Nadota, Kosyu, and Kharuta rivers. The modern techniques and recent advances in brachiopod research both in Russia and in the world are considered. Considering the changes in brachiopod systematics and Mississippian stratigraphy during the last 30 years, it is concluded that it is necessary to update the data on the taxonomic composition, paleogeographic and stratigraphic distribution of brachiopods in the North Urals region.

Keywords: brachiopods, Northern Urals, Mississippian, history of science.

Введение

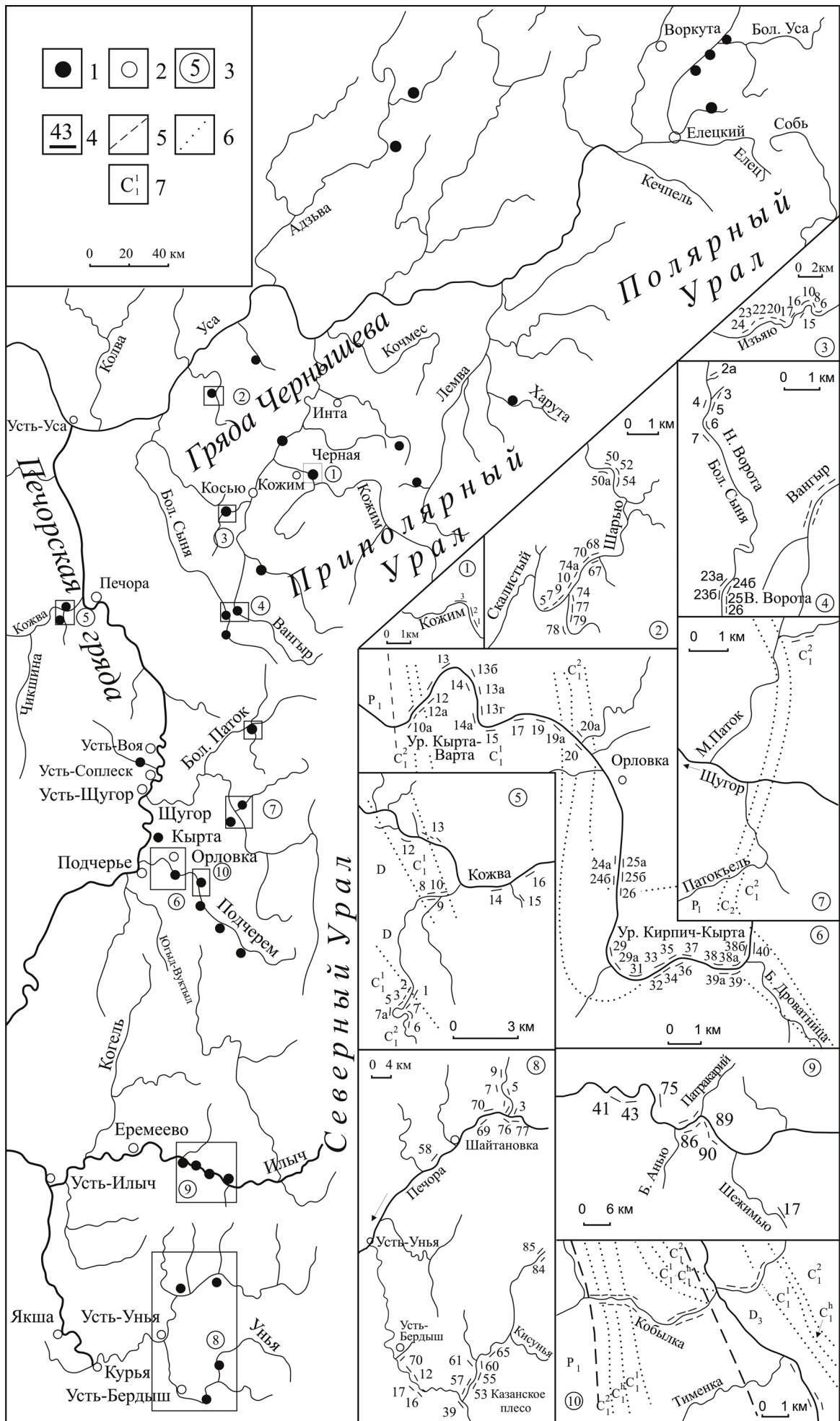
Брахиоподы представляют собой группу морских бентосных организмов с двусторчатой раковиной, которые появляются в нижнем кембрии, а максимального расцвета достигают в девоне. Использование брахиопод в стратиграфии для установления относительного возраста изначально было связано с высокими темпами их эволюции и хорошо узнаваемой морфологией. Значимость брахиопод для биостратиграфии и корреляции раннекаменноугольных образований связана с их широким палеогеографическим распространением. В частности, зональные подразделения по брахиоподам входят в состав комплексных зон региональной стратиграфической схемы Западного Урала (Стратиграфические..., 1993) и традиционно используются при расчленении и корреляции разрезов нижнего карбона севера Урала (Калашников, 1994).

Пик исследований раннекаменноугольных брахиопод Европейского Северо-Востока России пришелся

на вторую половину XX века, а с момента принятия последнего варианта брахиоподовой зональности прошло уже около 30 лет (Стратиграфические..., 1993). В настоящее время наиболее перспективными группами для биостратиграфии карбона являются конодонты и фораминиферы, данные по которым позволяют не только уточнять объемы выделяемых стратонов, но и проводить надежные сопоставления с международной и общей стратиграфическими шкалами (Журавлев, 2003; Соболев, 2005). Однако неравномерность фациального распределения разных групп фауны, в том числе микрофауны, и доминирование комплексного подхода в современных стратиграфических исследованиях (Степанова, Кучева, 2006; Mottequin, Weyer, 2019) обуславливают необходимость дальнейших исследований брахиопод, широко представленных в раннем карбоне. Брахиоподы хорошо выполняют функции стратификации и корреляции отложений, приуроченных к мелководным частям морских бассейнов, а конодон-

Для цитирования: Ерофеевский А. В. Состояние изученности и корреляционный потенциал раннекаменноугольных брахиопод западного склона севера Урала // Вестник геонаук. 2023. 7(343). С. 3–16. DOI: 10.19110/geov.2023.7.1

For citation: Erofeevsky A. V. State of knowledge and correlation potential of Mississippian brachiopods of the western slope of the northern Urals. Vestnik of Geosciences, 2023, 7(343), pp. 3–16, doi: 10.19110/geov.2023.7.1





ты и фораминиферы характеризуют в том числе пелагические разрезы, в которых брахиоподы, как правило, отсутствуют. При этом для платформенных областей и стратиграфических интервалов, в которых не отмечена активная тектоническая, вулканическая и гидротермальная активность, раковинный материал брахиопод является наиболее предпочтительным при проведении детальных изотопно-геохимических исследований углерода и кислорода при условии незначительных диагенетических изменений раковин, иначе они не смогут продемонстрировать первичные или близкие к ним изотопные составы (Grossman et al., 2008; Mateos-Carralafuente, 2023).

Современные исследования раннекаменноугольных брахиопод севера Урала (западный склон Полярного, Приполярного, Северного Урала, Предуральский краевой прогиб и Печорская гряда) невозможны без анализа изученности этой группы морских организмов. В первую очередь это связано с необходимостью пересмотра и актуализации существующей брахиоподовой зональности нижнего карбона Западного Урала (Стратиграфические..., 1993) с учетом произошедших изменений в систематике и региональной стратиграфии. Кроме того, результаты изучения брахиопод важны для обоснования и корреляции выделяемых в мелководных нижнекаменноугольных последовательностях стратонев и их границ (фаменско-турнейская, турнейско-визейская и визейско-серпуховская). Особенно это актуально в связи с работами, ведущимися Международным союзом геологических наук (МСГН) по выбору и утверждению точки глобального стратотипа (GSSP) нижних границ турнейского и серпуховского ярусов.

Основные этапы исследований раннекаменноугольных брахиопод севера Урала в XIX–XX вв.

Начало изучения брахиопод и стратиграфии каменноугольной системы Урала связано с экспедициями (1841–1843 гг.) Р. Мурчисона, при участии А. Кейзерлинга, маршрутные исследования которого проходили в бассейне рек Печора и Илыч. В результате самые первые описания раннекаменноугольных брахиопод севера Урала были опубликованы на немецком языке в 1846 г. (Keyserling, 1846). Три вида из семи оказались руководящими для нижнего карбона — *Delepinea comoides* (Sow.), *Striatifera striata* (Fisch.) и «*Spirifer cinctus*» Keys. (обозначения таксонов даны в соответствии

с современной номенклатурой, а названия из первоисточника помещены в кавычки). Последний был описан впервые (Keyserling, 1846, с. 229) и стал впоследствии типовым видом для рода *Palaeochoristites*, широко распространенного в верхнетурнейских образованиях Урала, Московской синеклизы, Донбасса (Поletaев, 2018), а также Европы и Китая (Sun and Balinski, 2011).

В 1856 г. вышла монография Э. Гофмана с описаниями обнажений по рр. Подчерем, Щугор, Б. Паток, где А. Кейзерлинг дал краткую характеристику визейско-серпуховских брахиопод и отмечал морфологическую сложность определения группы «*Productus semireticulatus*», которая «по-видимому, еще не разделена надлежащим образом» (Гофман, 1856, с. 216). Автором первого русскоязычного монографического описания североуральских брахиопод можно считать геолога-палеонтолога В. И. Меллера. Из отложений раннего карбона р. Щугор им были описаны виды *Echinoconchus punctatus* (J. Sow.), *Buxtonia scabricula* (Sow.), а на р. Подчерем отмечалась находка *Gigantoproductus giganteus* (J. Sow.) (Меллер, 1862). С 1884 по 1889 г. Е. С. Федоров принимал участие во Второй Северной экспедиции по рр. Средняя Печора, Унья, Подчерем, Щугор. Выполненные им описания обнажений сопровождались списками фоссилий, в основном состоящих из гигантопродуктид (определения Ф. Н. Чернышева) раннекаменноугольного возраста (Федоров, 1898).

В 1920–30-х гг. на севере Урала (рис. 1) относительный возраст осадочных пород нижнего карбона устанавливался с помощью брахиопод в работах В. А. Варсановьевой по р. Унья (Варсановьева, 1933), В. В. Копериной по рр. Надейта-шор и Лек-Надейта (Коперина, 1933), К. Г. Войновского-Кригера по рр. Б. Кожва и Б. Каменка (Войновский-Кригер, 1944). Определения брахиопод из сборов Печорской экспедиции А. А. Чернова 1935 г. в бассейне р. Косью были выполнены Т. Г. Сарычевой и Т. А. Добролюбовой (Чернов и др., 1940). Д. В. Наливкин определял брахиоподы и гастроподы при расчленении турнейского яруса в бассейне р. Средняя Печора (Добролюбова, Сошкина, 1935). Палеонтологические описания двух новых таксонов — *Delepinea gigantea* (Frcks.) и *Globosoproductus mirus* (Frcks.) — визейского возраста р. Кожым и Большеземельской тундры были опубликованы в статье Г. Н. Фредерикса, содержащей также таблицу распространения 15 видов (Фредерикс, 1926).

В первой половине XX в. благодаря развитию отечественной палеонтологической школы биостратиграфические исследования становятся обширнее. Напри-

Рис. 1. Схема расположения разрезов с местонахождениями раннекаменноугольных брахиопод в пределах северной части Западно-Уральского субрегиона. Условные обозначения: **1** — разрезы, изученные Н. В. Калашниковым и сотрудниками ИГ Коми НЦ; **2** — населенные пункты; **3** — номера врезок со схематичным расположением обнажений по данным: В. А. Черных (1976) — 1; А. И. Елисеева (1963) — 2, 3, 4; К. Г. Войновского-Кригера (1944) — 5; Т. А. Добролюбовой и Е. Д. Сошкиной (1935) — 6, 7, 10; В. А. Варсановьевой (1933, 1940) — 8, 9; **4** — номера обнажений; **5** — тектонические контакты; **6** — стратиграфические границы; **7** — стратиграфические подразделения: D₃ — верхний девон; C₁¹ — турнейские слои; C₁^h — переходные слои турне-визе; C₁² — визейские слои; P₁ — нижняя пермь

Fig. 1. Localities of Mississippian brachiopods in the northern part of the Western Urals subregion. Legend: **1** — sections studied by N. V. Kalashnikov and colleagues of the IG Komi SC; **2** — settlements; **3** — numbers of additional schemes with a schematic location of outcrops, according to: V. A. Chermnykh (1976) — 1; A. I. Eliseev (1963) — 2, 3, 4; K. G. Voynovsky-Krieger (1944) — 5; T. A. Dobrolyubova and E. D. Soshkina (1935) — 6, 7, 10; V. A. Varsanofeva (1933, 1940) — 8, 9; **4** — numbers of outcrops; **5** — tectonic contacts; **6** — stratigraphic boundaries; **7** — stratigraphic units: D₃ — Upper Devonian; C₁¹ — Tournaisian; C₁^h — Tournaisian-Visean transition; C₁² — Visean; P₁ — Lower Permian

мер, основой для сопоставления с уральскими разрезами стали комплексные исследования фауны Подмосковья выдающимися специалистами. В 1930—1950-х гг. брахиоподами нижнего карбона Подмосковской котловины занимались Т. Г. Сарычева (1937), М. А. Болховитинова (1938), Е. А. Иванова и другие. Несмотря на устаревшие данные, актуальным остается использование определителя брахиопод палеозоя Подмосковской котловины (Сарычева, Сокольская, 1952).

В 1939 г. во многие научные и производственные организации страны была отправлена неопубликованная рукопись Д. В. Наливкина «Турнейский ярус Урала», включающая описания брахиопод из сборов Т. А. Добролюбовой и Е. Д. Сошкиной по рр. Подчерем и Б. Каменка. Через год вышла статья В. И. Шиманского, посвященная гигантопродуктидам визейского яруса рр. Подчерем, Илыч, Щугор, Малый и Большой Паток. Вместе с описанием 21 вида им было рассмотрено их стратиграфическое распространение по горизонтам (Шиманский, 1940). В сводной работе В. А. Варсанофьевой по палеозою Печоро-Илычского заповедника (Варсанофьева, 1940) стратиграфическое расчленение визейского яруса на р. Илыч проводилось по брахиоподам (определения О. Л. Эйнора и Д. В. Наливкина). О. Л. Эйно́р также использовал брахиоподы гряды Чернышева для расчленения визейских отложений и сопоставления их с разрезами Южного Урала (Эйно́р, 1948).

С 1954 г. группой научных сотрудников Института геологии Коми филиала АН СССР (В. И. Есеева, А. И. Елисеев, В. А. Черных) проводились тематические работы по изучению нижнего карбона бассейнов рр. Илыч, Унья, Печора (средняя и верхняя). На датировки, установленные по фораминиферам и брахиоподам, при проведении геолого-съемочных работ опирались А. И. Елисеев на гряде Чернышева (Елисеев, 1963) и Г. А. Чернов на Печорской гряде (Чернов, 1960). В это же время Н. В. Калашников (рис. 2) приступил к изучению брахиоподовой фауны на территории, называемой им Печорским Уралом. Результаты его трудов впоследствии внесли существенный вклад в биостратиграфию нижнего карбона Западно-Уральского субрегиона.

С 1950 по 1958 г. Н. Н. Фотиевой была собрана коллекция брахиопод юго-восточного склона Южного Тимана, в основном из kernового материала скважин. После обработки были описаны хонетиды *Rugosochonetes*, *Chonetes* и *Plicochonetes* из отложений лихвинского надгоризонта (малевско-упинские слои) нижнего турне (Фотиева, 1961) и турнейские продуктиды среднего течения р. Печоры (Фотиева, 1964). Однако, вероятнее всего, нужна ревизия видов, отнесенных к родам широкого понимания *Plicatifera* и *Waagenoconcha*, последний из которых распространен в верхнем карбоне.

Ощутимый прогресс в изучении брахиопод с 1960-х по 1970-е гг. неразрывно связан с изданием Академией наук СССР многотомного справочника «Основы палеонтологии» (1960), где нижний карбон Северного Урала был представлен видами *Pustula pustulosa* (Phill.) и *Punctospirifer octoplicatus* (Sow.). Принятая в справочных пособиях и словарях этого периода терминология до сих пор используется палеонтологами.

В 1960—70-х гг. в связи с отраслевыми запросами и развитием микропалеонтологии наблюдался ощутимый рост биостратиграфических исследований, где брахиоподы выполняли одну из основных функций.



Рис. 2. Н. В. Калашников

Fig. 2. N. V. Kalashnikov

В этот период брахиоподы карбона Полярного Приуралья и Пай-Хоя изучала Н. В. Енокян* (1973). В своей диссертации она обозначила несколько этапов развития брахиопод в виде «группировок», которые были поделены на более мелкие комплексы, отвечающие горизонтам стратиграфической схемы Русской платформы. Также было установлено, что в радаевском горизонте р. Кожым брахиоподовая зона *Fluctuaria undata* — *Buxtonia scabricula* не имеет аналогов в других изученных разрезах (Енокян, 1973*).

В 1963 г. Н. В. Калашниковым были описаны многочисленные представители рода *Davidsonina*, обнаруженные в известняках визейского возраста на р. Уса в виде «банок», и установлены полярно-уральский и западно-европейский районы их распространения (Калашников, 1963). В следующей статье им были опубликованы сведения о *Davidsonina carbonaria* из отложениях серпуховского надгоризонта р. Утлан. Описываемый комплекс брахиопод в данной сводке насчитывает 48 видов и происходит из отложений нижнего карбона бассейна верхней Печоры (Калашников, 1966). Впервые представленный здесь род *Podtsheremia* был назван в честь местонахождения в визейских отложениях р. Подчерем и позднее вошел в последнюю редакцию международной сводки по брахиоподам (Carter, 2006, с. 1780). Анализ литературных данных позволяет отнести около 8 видов из этой статьи к другим родам (Сарычева, Легран-Блан, 1977; Литвинович, Воронцова, 1983; Полетаев, 2018). При этом виды рода *Semiplanus* некоторые исследователи отнесли к *Ovatia* (Морозов, Беляева, 1986).

В 1967 г. Н. В. Калашников дал оценку условиям существования четырех экологических типов раннекаменноугольных брахиопод (Калашников, 1967а) и проанализировал их стратиграфическое распростра-

*Енокян Н. В. Карбон Полярного Приуралья, Западного Пай-Хоя и о. Вайгач и значение брахиопод для его стратиграфии: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / Казан. гос. ун-т им. В. И. Ульянова-Ленина. Казань, 1973. 23 с.

Enokyan N. V. Karbon Polyarnogo Priural'ya, Zapadnogo Paj-Hoya i o. Vajgach i znachenie brachiopod dlya ego stratigrafii (Carboniferous of the Polar Urals, Western Pai-Khoi and Vaigach Island and the importance of brachiopods for its stratigraphy). PhD thesis abstract, Kazan, 1973, 23 p.



нение (Калашников, 1967б). Наибольшее внимание обращали на себя рубежи при смене комплексов брахиопод в кизеловско-козьвинское и протвинское время. Отсутствие брахиопод раннего визе объяснялось редкостью их нахождения в терригенных фациях, но позднее данный интервал уже был представлен родом *Delepinea* (Калашников, 1974).

В 1970 г. в диссертации Н. В. Калашникова были изложены результаты многолетних (1955—1969 гг.) исследований раннекаменноугольных брахиопод из отложений рр. Подчерем, Щугор, Воя, Б. Соплес, Б. Кожва, Б. Каменка, Кожым, Уса, Унья, Илыч и Мал. Печора (рис. 1). Из всех районов, в которых в настоящий момент отмечается присутствие нижнего карбона, практически остались малоизученными брахиоподы южной части гряды Чернышева (р. Изъяю), а также бассейны рек Вуктыл, Большая Надота, Харута и Косью. Комплекс брахиопод включал 200 таксонов, из которых описано 150 видов, в том числе 28 новых (Калашников, 1974). Было доказано единство визейско-серпуховского комплекса брахиопод с комплексом Подмосковского бассейна, а турнейского — с комплексом Среднего и Южного Урала. Границу между турнейским и визейским ярусами Н. В. Калашников проводил в кровле зоны *Levitusia humerosa*, аналога козьвинского горизонта, который до 2008 г. официально был включен в объем визейского яруса Уральской схемы (Состояние..., 2008). В этом же году были опубликованы описания беззамковых брахиопод (Калашников, 1970а). Таксономическая принадлежность некоторых форм вызывает сомнение, поскольку диагнозы были составлены в основном по внешним признакам. Классическим примером комплексного изучения фауны (фораминиферы, брахиоподы, кораллы) является статья Н. В. Калашникова по стратиграфии визейского яруса р. Унья (Калашников, 1970б). Однако в стратиграфических работах этого периода описания пород, сопровождающиеся списками фауны, зачастую даются очень кратко, что усложняет их дальнейшую корреляцию.

В монографии Е. А. Ивановой (1971), посвященной изучению спирифирид, североуральский материал был представлен видами *Syringothyris borealis* Kalash., *Punctospirifer octoplicatus* (Sow.) и *Davidsonina compressa* Kalash. В 1973 г. Д. В. Наливкиным и Н. Н. Фотиевой были описаны брахиоподы из пограничных отложений турнейского и визейского ярусов западного склона Урала, где его северная часть включала разрезы по рр. Кожым, Вангыр, Б. Сыня, Б. Каменка и Щугор. Самая большая североуральская ассоциация брахиопод, насчитывающая 18 видов, в том числе 4 новых, была найдена в отложениях нижнего карбона р. Кожым (Наливкин, Фотиева, 1973).

Обобщающей для биостратиграфии нижнего карбона по брахиоподам севера Урала и Приуралья стала монография Н. В. Калашникова (1974), в которой были отражены основные положения его диссертации. Границу нижнего карбона Н. В. Калашников проводил в подошве лытвинского горизонта, позднее включенного в девонскую схему Западного склона Урала (Стратиграфические..., 1993). В принятой им схеме (рис. 4) выделялся кыновский горизонт, позднее упраздненный (Объяснительная..., 1980), а козьвинский горизонт был соотнесен с верхнекизеловским подгоризонтом. На данный момент некоторые сведения, касающиеся

предложенной в работе системы брахиопод, устарели. Например, шеллвинеллы и шухертеллы, отнесенные к строфоменидам, на данный момент включены в отряд *Orthotetida* (Treatise..., 2000). Позднее ревизованный вид *Latiproductus kozhvaensis* (Kal.) Н. В. Калашников относил к гигантопродуктусам (Литвинович, Воронцова, 1991). Уральские виды, причисленные в 1983 г. к роду *Moderatoproductus* (Литвинович, Воронцова, 1983), являются младшими синонимами рода *Datangia* (Brunton et al., 2000). В Атласе спирифирид В. И. Полетаева содержится 19 североуральских видов Н. В. Калашникова, из которых ревизовано 12 (Полетаев, 2018). В связи с изменениями в стратиграфии и новыми данными по морфологии и систематике, пересмотру подлежат представленные в монографии девонские роды *Spinulicosta* и *Camarotoechia*, позднекаменноугольные роды *Lino-productus* и *Cancrinella*, а также беззамковые *Lingula*. Несмотря на местами неактуальные данные, эта монография является единственным региональным определителем брахиопод всего раннего карбона севера Урала. Представленные в ней виды имеют широкое палеогеографическое распространение в пределах Европейско-Среднеазиатской провинции и встречаются в синонимиках, приведенных специалистами из других регионов (Кучева, 2018; Tazawa et al., 2005; Aretz et al., 2019 и др.).

Дальнейшее уточнение стратиграфии переходных толщ девона и карбона Тимано-Печорской провинции по брахиоподам продолжила Н. Н. Фотиева, которая выделила четыре группы брахиопод: девонские, девонско-этреньские, этреньские и каменноугольные (Фотиева, 1973). В 1985 г. результаты обработки коллекций брахиопод из различных скважин (районы верхней, средней Печоры и западного склона Южного Урала) были изложены в монографии-определителе (Фотиева, 1985).

Раздел по брахиоподам, входящий в Палеонтологический атлас каменноугольных отложений Урала (1975), разрабатывался также при участии Н. В. Калашникова (Лапина и др., 1975). Помимо южноуральских и среднеуральских брахиопод в этой сводке был описан комплекс из отложений нижнего карбона рр. Кожым, Унья, Подчерем, Б. Кожва, Каменка, Уса (всего около 60 видов), в том числе новый вид *Striatifera grandicula* Kalsh. из усть-сарбайского (протвинского) горизонта р. Унья. Зоогеографическое распространение брахиопод карбона СССР рассматривал О.Л. Эйно́р, который установил, что фауна восточного склона Урала в целом богаче западного, а «Уральский район изучен слабее Донецкого и Восточно-Русского» (Эйно́р, 1975, с. 134). В рамках совещаний по уточнению унифицированной схемы карбона Западного Урала в 1975 году проводились colloquia по брахиоподам, где обсуждались характерные для раннекаменноугольного времени формы. По данным И. М. Гарань, нижневизейский брахиоподовый комплекс западного склона Среднего Урала и бассейна рр. Кожым, Илыч, Унья, характеризуется отсутствием гигантопродуктусов и *Levitusia sublaevis* (de Koninck) (Решения..., 1975).

В монографии (Наливкин, 1979), практически являющейся доработанной рукописью (1939) и посвященной турнейским брахиоподам Урала, описывались 4 новых вида из «подчеремских» известняков лытвинского и кыновского горизонтов из сборов Т. А. Добро-

любовой и Е. Д. Сошкиной 1928—1929 гг. Представленные фототаблицы содержат также другие 6 видов с р. Подчерем и 2 вида из кизеловско-косьвинских слоев р. Б. Каменка. Д. В. Наливкин отмечал, что продуктыды реже всего встречаются в нижнем турне, поскольку характер фаций напрямую влияет на степень обилия и разнообразия брахиопод.

В 1980 г. рабочей группой по уточнению стратиграфической схемы Урала были выделены зоны по брахиоподам, ставшие основой для принятой зональности в Уральской схеме 1993 г. (рис. 4). Также было рекомендовано разделение визейского яруса на два подъяруса, с границей в основании брахиоподовой зоны *Globosoproductus mirus* (Объяснительная записка..., 1980). В 1989 г. на коллоквиуме по брахиоподам, проходившем в Сыктывкаре (рис. 3), обсуждалась доработка брахиоподовой зональной шкалы (Щербаков и др., 1994). В 1991 г. утвердили субрегиональную стратиграфическую схему нижнекаменноугольных отложений Западного Урала (Стратиграфические..., 1993), в которую вошла обновленная зональная последовательность по брахиоподам. Зона *Eomariniopsis waschkurikus* — *Eudoxina media* (рис. 4) выступила в качестве маркирующего горизонта для нижнетурнейских толщ, а кизеловско-косьвинское время было связано с расцветом родов *Levitusia*, *Mesochorospira*, *Palaeochoristites* и *Gibbochonetes*. Включение в схему брахиоподовой зоны *Delepinea uralica*, хорошо прослеживаемой в разрезах рек Илыч и Кожым, было предложено Н. В. Калашниковым для нижнего визе Западного Урала (Калашников, 1994).

Таким образом, наиболее активные исследования раннекаменноугольных брахиопод в североуральском регионе были связаны с тематическими и геолого-съемочными работами по изучению каменноугольной системы в 1954—1975 годах. Закономерным результатом изучения брахиопод стали зональные шкалы (рис. 4), часть из которых вошла в комплексные зоны субрегиональной стратиграфической схемы нижнекаменноугольных отложений Западного Урала (Стратиграфические..., 1993). С тех пор зональные подразделения по брахиоподам севера Урала были рассмотрены лишь в двух работах (Калашников, 1994; 2005).

Поскольку с момента публикации таксономических сводок прошло более 45 лет (Калашников, 1974; Лапина и др., 1975), а со времени принятия зональной шкалы по брахиоподам около 30 лет, то назрела необходимость в уточнении систематической принадлежности брахиопод и актуализации зональной последовательности по этой группе фауны.

Современное состояние исследований раннекаменноугольных брахиопод

На сегодняшний день отмечается увеличение информации по раннекаменноугольным брахиоподам Восточно-Уральского субрегиона. Прежде всего это связано с активизацией работ по обоснованию GSSP-границы визе — серпухов в разрезе «Верхняя Кардаилловка» на Южном Урале (Richards et al., 2015). Публикации Н. А. Кучевой по брахиоподам раннего карбона восточного склона Южного и Среднего Урала показывают возможность использования этой группы организмов для детального расчленения визейских и серпуховских отложений и межрегиональной корреляции



Рис. 3. Брахиоподовый коллоквиум по карбону и перми (Сыктывкар, 1989). Слева направо, нижний ряд: И. В. Беда, Н. П. Шилова, Н. А. Кучева, В. А. Чермных. Верхний ряд: О. А. Щербаков, Г. Е. Черняк, В. П. Матвеев, Н. В. Калашников, В. И. Шевченко, А. В. Людвинов

Fig. 3. Carboniferous and Permian Brachiopod Colloquium (Syktyvkar, 1989). From left to right, lower row: I. V. Beda, N. P. Shilova, N. A. Kucheva, V. A. Chermnykh. Top row: O. A. Shcherbakov, G. E. Chernyak, V. P. Matveev, N. V. Kalashnikov, V. I. Shevchenko, A. V. Ludvinov

(Степанова, Кучева, 2006; Кучева, 2019). Также ею было прослежено влияние среднекаменноугольного события малого массового вымирания на видовое разнообразие (Кучева, 2020). Кроме того, имеются обобщения о стратиграфическом распространении брахиопод Западной Европы вблизи девонско-каменноугольной границы, которые связаны с работами, проводимыми в рамках выбора нового варианта GSSP основания турнейского яруса (Mottequin et al., 2014).

Продолжительное время среди североуральских спирифирид косьвинского горизонта к руководящим формам относилась группа с объединяющим названием *Palaeochoristites* (?) *desinuatus*, не имеющая ясной таксономической принадлежности. В 2003 г. Н. В. Калашниковым из этой группы были выделены два новых рода — *Uralochoristites* и *Kosvaspirifer* (Калашников, 2003), которые в 2018 г. были ревизованы В. И. Полетаевым и включены в ранее открытый Д. Картером род *Mesochorospira* (Полетаев, 2018).

В 2005 г. в обобщающей сводке Н. В. Калашникова, включающей многолетние палеобиогеографические исследования раннего карбона Европейского Северо-Востока России, при перечислении основных зон палеорельефа морского дна и сопутствующей фауны большое внимание было уделено распространению брахиопод (Калашников, 2005). Однако к разделу, посвященному биостратиграфии, возникают некоторые вопросы. Например, не совсем понятно выделение в нижнем турне брахиоподовой зоны *Productella* — *Spinulicosta*, включающей позднедевонские таксоны.

Начиная с 2000-х гг. североуральские брахиоподы карбона используются в качестве вспомогательных групп при проведении стратиграфических построений. В частности, в 2018 г. для уточнения биостратиграфической характеристики карбонатного разреза верхнего турне на р. Кожве, в комплексе с фораминиферами и конодонтами использовались брахиоподы,



среди которых представители родов *Scutepustula* и *Stegacanthia* на востоке Тимано-Печорской провинции были встречены впервые (Журавлев и др., 2019). Редкие упоминания брахиопод при изучении разрезов Северного Урала (Журавлев, Соболев, 2007) указывают на то, что систематические сборы этих организмов, как и остальной макрофауны, не проводились.

С 1995 г. с периодичностью в пять лет проводятся международные конгрессы, посвященные последним достижениям в области изучения брахиопод. На этих совещаниях обсуждаются новейшие методы и результаты изучения ископаемых и современных брахиопод, касающиеся их морфологии, филогении, молекулярных исследований раковинного вещества, составление банка данных. В 2015 г. на седьмом конгрессе в Китае (Nanjing) было решено проводить совещания каждые три года (Halamski, 2016). Однако если 8-й конгресс прошел в Милане (Италия) в 2018 г., то далее эти планы были нарушены ввиду пандемии covid-19. Следующий международный съезд планируется провести в 2024 году в Канаде.

Развитие сканирующей электронной микроскопии способствовало исследованию не только микроструктурных особенностей раковин, но и микроморфных брахиопод. Извлечение микроскопических окаменелостей из твердых и плотных известняков — довольно трудоемкая задача. Практически единственным методом, который может выявить такие остатки, является кислотная обработка объемных образцов пород. При этом окремнение самих фоссилий, по видимому, является необходимым условием для успешного выпадения из растворимого осадка (Balinski, Sun, 2008). Учитывая редкую встречаемость среди микроморфных брахиопод нижнего карбона, наиболее изученным можно считать род *Lambdarina*, обнаруженный в отложениях верхнего турне и верхнего визе Англии, Ирландии, Испании, Польши, Бельгии, Австралии и Китая (Muszer, 2014). Находки представителей надсемейства *Lambdarinoidea* отмечаются также в верхнем турне гряды Чернышева и бассейне р. Кожым (Пахневич, Соболев, 2022).

Технический прогресс в изучении брахиопод коснулся рентгеновской микротомографии, которая в последнее время все чаще стала заменять классические методы серийных срезов. Преимущества метода заключаются в сохранении целостности раковин. Наилучшие результаты получаются при использовании окремненной породы, которая контрастирует с кальцитово-раковинной. При этом существует зависимость от соотношения «раковина — порода» со смешанным карбонатно-глинистым наполнителем. Например, спирифирида *Tylothyris transversa* Roberts, 1971 из турнейских отложений Австралии показала худшие изображения по сравнению с пермской брахиоподой *Cleiothyridina baracoodensis* (Etheridge) (Lee et al., 2017). Другими недостатками метода являются отсутствие визуализации линий роста, ограничения по размеру выборки и довольно высокая стоимость используемого оборудования.

Начиная с 1995 года в связи с появлением масс-спектрометров нового поколения вновь вернулся интерес к изотопным исследованиям брахиопод, базирующийся на том, что раковины состоят из кальцита, который сохраняет изотопный состав древней мор-

ской воды и поэтому хорошо подходит для палеоэкологических и палеоклиматических реконструкций (Popp et al., 1986; Buening, 2001). При этом предпочтение отдается раковинам хорошей сохранности с незначительными диагенетическими изменениями. Надежность изотопной стратиграфии и палеотемпературных построений по брахиоподам, которые в отличие от конодонтов дожили до наших дней, может быть выше за счет более обоснованного учета «жизненного эффекта» (Halamski, 2016). В России изотопные записи для раннего карбона были установлены в результате изучения раковин брахиопод из отложений Восточно-Европейской платформы (начиная с середины визейского яруса) и сопоставлены с брахиоподами Северной Америки (Grossman et al., 2008). В Северо-Уральском субрегионе работы в этой области только начинают проводиться (Ерофеевский, Плотицын, 2023).

В последние десятилетия продолжалось изучение раннекаменноугольных брахиопод России (Полетаев, 2006; Афанасьева, 2008, 2022; Кучева, 2018), Закавказья (Alekseeva et al., 2018; Пахневич, 2022), Китая (Shen et al., 2017), Бельгии (Mottequin, 2022), Великобритании (Carniti et al., 2022), Германии (Mottequin, 2019), Северного Ирана (Bahrammanesh et al., 2011), США (Carter et al., 2014), Японии (Tazawa, 2018). Однако в настоящее время отмечается значительное сокращение специалистов по такой важной для биостратиграфии группы, как брахиоподы. Например, с 2020 по 2021 г. вышло всего 5 публикаций, что сказывается на качестве стратиграфической информации, ее достоверности и полноте, а также приводит к ошибкам в датировках осадочных толщ в научных онлайн-базах данных и описаниях музейных образцов (Emig et al., 2015). Такую ситуацию предвидели еще в 1985 г., когда на первом международном конгрессе по брахиоподам предложили пересмотреть всю систему брахиопод, учитывая, что через несколько лет это будет сделать уже невозможно. В результате переиздание многолетнего международного справочника Treatise по брахиоподам (1997, 2000, 2002, 2006, 2007) оказалось дальновидным решением.

Ввиду больших размеров раковин и широкого распространения в верхах нижнего карбона по всему миру не ослабевает интерес к группе гигантопродуктид. Вопросы морфологии и систематики этих брахиопод затрагивались в ряде работ, вышедших в России (Литвинович, Воронцова 1983; 1991), Франции (Aretz et al., 2019) и Польше (Zakowa, 1985). Используя мультидисциплинарный подход в изучении гигантопродуктусов из визе Дербишира (Англия), исследователи пришли к выводу, что аминокислотный состав ископаемых раковин имеет сходство с современными таксонами (Angiolini, 2019). В Испании после ряда скрининговых исследований раковин *Gigantoproductus* установлено, что третичный раковинный слой этих брахиопод является наиболее подходящим для проведения палеоклиматических реконструкций, так как лучше всего сохраняет исходную микроструктуру и изотопный состав (Mateos-Carralafuente et al., 2023).

Пересмотр всех опубликованных данных по каменноугольным брахиоподовым биоценозам и палеогеография позволил определить в глобальном масштабе биостратиграфическое значение важнейших таксонов (Angiolini et al., 2021; Li et al., 2021). Выяснилось, что

[illegible]



Рис. 4. Сопоставление стратиграфических схем нижнего карбона. Зональные брахиоподовые подразделения выделены жирным шрифтом. Сокращения: D — девон; D₃^{fm} — фаменский ярус; Н* — надгоризонт; серпухов. — серпуховский; яснопол. — яснополянский; Г* — горизонт; курмак. — курмаковский; ладейн. — ладейнинский; губашк. — губашкинский; куртым. — куртымский; др. — дружининский; ил. — илычский; пестер. — пестерковский; косьв. — косьвинский; кизел. — кизеловский; косореч. — косореченский; лыт. — лытвинский; G. — *Gigantoproductus*, Hym. — *Hymenozontriletes*; Trem. — *Trematozonotrites*; Eolith. — *Eolithostrotonella*; Spin. — *Spinoendothyra*; End. — *Endothyranopsis*; Glob. — *Globosoproductus*

Fig. 4. Correlation of the stratigraphic charts of the Mississippian. Brachiopod zones are shown in bold. Abbreviations: D — Devonian; D₃^{fm} — Famennian; Н* — regional superstage; серпухов. — Serpukhovian; яснопол. — Jasnopolyansky; Г* — regional stage; курмак. — Kurmak; ладейн. — Ladeynoe; губашк. — Gubakha; куртым. — Kurtym; др. — Druzhinino; ил. — Ilytch; пестер. — Pesterki; косьв. — Kosva; кизел. — Kizel; косореч. — Kosaya Retchka; лыт. — Lytva; G. — *Gigantoproductus*, Hym. — *Hymenozontriletes*; Trem. — *Trematozonotrites*; Eolith. — *Eolithostrotonella*; Spin. — *Spinoendothyra*; End. — *Endothyranopsis*; Glob. — *Globosoproductus*

раннекаменноугольная брахиоподовая фауна обладает хорошим потенциалом для межрегиональной корреляции. Для турнейско-визейского интервала предложена брахиоподовая зональность, достигающая высокого разрешения на уровне подъярусов. Значительным корреляционным потенциалом обладают представители родов *Rugosochonetes*, *Delepinea*, *Buxtonia*, *Antiquatonia*, *Fluctuaria*, *Ovatia*, *Rhipidomella*, *Syringothyris*, известные не только на севере Урала, но и в Западной Европе, Северной Африке, Северном и Южном Китае. Не менее широким распространением в мире отличаются турнейские роды *Levitusia*, *Palaeochoristites* и *Mesochorispira*. С середины визе до позднего серпухова повсеместно, кроме Южной Америки и Австралии, встречаются гигантопродуктусы. Для серпуховского века космополитными являются все виды стриафифер, за исключением южноамериканской фауны (Angilioni et al., 2021).

Заключение

По результатам обобщения более чем 175-летней истории исследований брахиопод в пределах Европейского Северо-Востока России сделаны следующие выводы.

Наибольшая активность исследований раннекаменноугольных брахиопод приходится на 60–70-е гг. прошлого столетия. В целом большинство биостратиграфических работ этого периода лишены детальной литолого-стратиграфической основы и не отвечают современным стандартам стратиграфических построений, что значительно усложняет их применение.

Значительный вклад в изучение брахиопод раннего карбона севера Урала и в разработку на их основе зональности внесли труды Н. В. Калашникова, Д. В. Наливкина, Н. Н. Фотиевой и Н. В. Еномян.

Несмотря на широкую географию изученных ранее североуральских брахиопод, существуют территории, где детальное изучение брахиопод не проводилось либо сведения о них носят фрагментарный характер. В связи с этим наиболее перспективным районом для проведения будущих исследований раннекаменноугольных брахиопод является южная часть гряды Чернышева, а также бассейны рек Вуктыл, Большая Надота, Харута и Косью. В то же время наименее изученными остаются брахиоподы нижнетурнейского подъяруса для всего Северо-Уральского субрегиона.

С учетом произошедших изменений в классификации брахиопод назрела необходимость в обновлении данных об их таксономическом составе. Поскольку

существует проблема корреляции местных подразделений с региональными стратонами, остается востребованным дальнейшее изучение брахиопод с привлечением различных новейших методик. При этом должны быть учтены все изменения, касающиеся ярусных границ с момента утверждения первых стратиграфических схем Урала и тех работ, которые проводятся на данный момент при выборе новых глобальных стратотипических разрезов и точек турнейского (основание каменноугольной системы) и серпуховского ярусов.

Автор благодарит рецензентов за ценные замечания и рекомендации. Исследования проведены в соответствии с темой № 122040600008-5 Государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Литература / References

- Афанасьева Г. А. Род *Unispirifer* Campbell (Brachiopoda, Spiriferida) в раннем карбоне Московской синеклизы // Палеонт. журнал. 2008. № 4. С. 39–43.
- Afanasjeva G. A. Rod *Unispirifer* Campbell (Brachiopoda, Spiriferida) v rannem karbone Moskovskoj sineklizy (The genus *Unispirifer* Campbell (Brachiopoda, Spiriferida) in the Early Carboniferous of the Moscow syncline). Paleont. J., 2008, No. 4, pp. 39–43.
- Афанасьева Г. А. Разнообразие и распространение брахиопод отряда Chonetida в карбоне // Палеонт. журнал. 2022. № 5. С. 19–28.
- Afanasjeva G. A. Raznoobrazie i rasprostranenie brachiopod otryada Chonetida v karbone (Diversity and Distribution of the Carboniferous Brachiopods of the Order Chonetida). Paleont. J., 2022, No. 5, pp. 19–28.
- Болховитинова М. А. Экология, палеогеография и стратиграфическая ценность гигантелл тульской толщи Подмосковского бассейна // Тр. Моск. геол.-развед. ин-та. М.-Л., 1938. Т. 12. С. 201–262.
- Bolhovitinova M. A. Ekologiya, paleogeografiya i stratigraficheskaya cennost' gigantell tul'skoj tolshchi Podmoskovnogo bassejna (Ecology, paleogeography and stratigraphic value of gigantellas from the Tula sequence of the Moscow Region basin). Proc. of the Moscow Geol. Pros. Institute. Moscow-Leningrad, 1938, Vol. 12, pp. 201–262.
- Варсановьева В. А. Предварительный отчет о работах 1927 г. в западной части юго-восточной четверти 124-го листа (бассейн р. Уньи) // Тр. ВГРО. М.-Л., 1933. Вып. 289. 47 с.
- Varsanof'eva V. A. Predvaritel'nyj otchet o rabotah 1927 g. v zapadnoj chasti yugo-vostochnoj chetverti 124-go lista (bassejn r. Un'i) (Preliminary report on the works of 1927 in the western part of the south-eastern quarter of sheet



124. The Unya river basin). Leningrad-Moscow, 1933, 289, 47 p.
- Варсановьева В. А. Геологическое строение территории Печоро-Ильчского государственного заповедника // Труды Печоро-Ильчского государственного заповедника. М., 1940. Вып. 1. С. 5—214.
- Varsanof'eva V. A. *Geologicheskoe stroenie territorii Pechoro-Ilychskogo gosudarstvennogo zapovednika* (Geological structure of the territory of the Pechoro-Ilych State Reserve). Trudy Pechoro-Ilychskogo gosudarstvennogo zapovednika. Moscow, 1940, Is. 1, pp. 5—214.
- Войновский-Кригер К. Г. Геологическое строение нижней части бассейна реки Большой Кожвы (левый приток р. Печоры). М.-Л.: Госгеолгиздат, 1944. 32 с.
- Vojnovskij-Kruger K. G. *Geologicheskoe stroenie nizhnej chasti bassejna reki Bol'shoj Kozhvy (levyj pritok r. Pechory)* (Geological structure of the lower part of the basin of the Bolshaya Kozhva River (left tributary of the Pechora River)). Moscow-Leningrad: Gosgeolizdat, 1944, 32 p.
- Гофман Э. К. Северный Урал и береговой хребет Пай-Хой. Т. 2. СПб.: Типогр-я Императорской акад. наук, 1856. 376 с.
- Gofman E. K. *Severnyj Ural i beregovoj hrebet Paj-Hoj* (Northern Urals and Pay-Khoy coastal ridge). St. Petersburg: Print. of the Imp. Acad. Sciences, 1856, V. 2, 376 p.
- Добролюбова Т. А., Сошкина Е. Д. Общая геологическая карта европейской части СССР (Северный Урал). Лист 123 // Труды Ленинградского геолого-гидрогеодезического треста. Вып. 8. Л.-М., 1935. 195 с.
- Dobrolyubova T. A., Soshkina E. D. *Obshchaya geologicheskaya karta Evropejskoj chasti SSSR (Severnyj Ural). List 123* (Geological map of the North Ural. Sheet 123). Transactions of the Leningrad Geol. Hydrogeol. and Geodetic Trust. Leningrad-Moscow, 1935, 8, 195 p.
- Елисеев А. И. Стратиграфия и литология каменноугольных отложений гряды Чернышева. Л.-М.: Изд-во АН СССР, 1963. 173 с.
- Eliseev A. I. *Stratigrafiya i litologiya kamennougol'nyh otlozhenij gryady Chernysheva* (Stratigraphy and lithology of the Carboniferous deposits of the Chernyshev Ridge). Leningrad-Moscow: Rus. Acad. Sci., 1963, 173 p.
- Ерофеевский А. В., Плотыцын А. Н. Особенности изотопного состава углерода и кислорода раковин брахиопод и вмещающих карбонатов сартъюской свиты (нижний карбон, Воркутинское поперечное поднятие) // Био- и геособытия в истории Земли: Материалы LXIX сессии Палеонтологического общества при РАН. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2023. С. 42—45.
- Erofeevskij A. V., Plotitsyn A. N. *Osobennosti izotopnogo sostava ugleroda i kisloroda rakovin brachiopod i vmeshchayushchih karbonatov sart'yuskoj svity (nizhnij karbon, Vorkutinskoe poperechnoe podnyatie)* (Features of the isotopic composition of carbon and oxygen in brachiopod shells and host carbonates of the Sartyu Formation (Lower Carboniferous, Vorkuta Transverse Uplift)). Materials of the 59th session of the Paleont. Soc. Rus. Acad. Sci., St. Petersburg: Kartfabrika VSEGEI, 2023, pp. 42—45.
- Журавлев А. В. Конодонты верхнего девона — нижнего карбона северо-востока Европейской России. СПб.: ВСЕГЕИ, 2003. 85 с.
- Zhuravlev A. V. *Konodonty verhnego devona — nizhnego karbona severo-vostoka Evropejskoj Rossii* (Conodonts of the Upper Devonian — Lower Carboniferous of the North-East of European Russia). St. Petersburg: VSEGEI, 2003, 85 p.
- Журавлев А. В., Соболев Д. Б. Кодзыд'ельская свита верхнего девона — нижнего карбона Северного Урала в новом стратиграфическом объёме // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2007. Т. 2. С. 1—5.
- Zhuravlev A. V., Sobolev D. B. *Kodzyd'el'skaya svita verhnego devona — nizhnego karbona Severnogo Urala v novom stratigraficheskom obyome* (Upper Devonian — Lower Carboniferous Kodzyd'el Formation of the Northern Urals in a new stratigraphic volume). Neftegazovaya geologiya, 2007, V. 2, pp. 1—5.
- Журавлев А. В., Вевель Я. А., Плотыцын А. Н., Ерофеевский А. В., Лукин В. Ю. Позднетурнейские мелководные отложения востока Тимано-Печорской провинции (р. Кожва) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т. 14. № 4. С. 1—20.
- Zhuravlev A. V., Vevel' Y. A., Plotitsyn A. N., Erofeevskij A. V., Lukin V. Y. *Pozdneturnejskie melkovodnye otlozheniya vostoka Timano-Pechorskoj provincii (r. Kozhva)* (Late Tournaisian shallow-water deposits of the east of the Timan-Pechora province (Kozhva river)). Neftegazovaya geologiya, 2019, V. 14, No. 4, pp. 1—20.
- Иванова Е. А., Сарычева Т. Г. Наставление по сбору и изучению брахиопод. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 76 с.
- Ivanova E. A., Sarycheva T. G. *Nastavlenie po sboru i izucheniyu brachiopod* (Instructions for the collection and study of brachiopods). Moscow: Rus. Acad. Sci., 1963, 76 p.
- Иванова Е. А. Введение в изучение спириферид // Труды ПИН. М.: Наука, 1971. Т. 126. 105 с.
- Ivanova E. A. *Vvedenie v izuchenie spiriferid* (Introduction to the study of spiriferides). Moscow: Nauka, 1971, V. 126, 105 p.
- Калашиников Н. В. О роде Davidsonina из карбона Северного Урала // Палеонт. журнал. 1963. № 2. С. 43—53.
- Kalashnikov N. V. *O rode Davidsonina iz karbona Severnogo Urala* (On the genus Davidsonina from the Carboniferous of the Northern Urals). Paleont. J., 1963, No. 2, pp. 43—53.
- Калашиников Н. В. Брахиоподы нижнего карбона Верхней Печоры на Северном Урале // Стратиграфия и палеонтология северо-востока европейской части СССР. М.-Л.: Наука, 1966. С. 28—61.
- Kalashnikov N. V. *Brahiopody nizhnego karbona Verhnej Pechory na Severnom Urale* (Brachiopods of the Lower Carboniferous of the Upper Pechora in the Northern Urals). Stratigraphy and paleontology of the North-East of the European part of the USSR. Moscow-Leningrad: Nauka, 1966, pp. 28—61.
- Калашиников Н. В. Экология фауны и биомическое районирование каменноугольного моря Северного Урала. Л.: Наука, 1967а. 57 с.
- Kalashnikov N. V. *Ekologiya fauny i bionomicheskoe rajonirovanie kamennougol'nogo morya Severnogo Urala* (Fauna ecology and bionomic zoning of the Northern Urals Carboniferous Sea). Leningrad: Nauka, 1967a, 57 p.
- Калашиников Н. В. О вертикальном распространении брахиопод в нижнем карбоне Северного Урала и Приуралья // Тр. Ин-та геол. КФАН СССР. Вып. 6. Сыктывкар, 1967б. С. 14—28.
- Kalashnikov N. V. *O vertikal'nom rasprostranenii brachiopod v nizhnem karbone Severnogo Urala i Priural'ya* (On the vertical distribution of brachiopods in the Lower Carboniferous of the Northern Urals and Cis-Urals). Proc. Institute of geology Komi Branch USSR AS, Syktyvkar, 1967b, 6, pp. 14—28.



- Калашиников Н. В. О беззамковых брахиоподах карбона Северного Урала и их экологии // Фауна и флора палеозоя северо-востока европейской части СССР. Л.: Наука, 1970а. С. 5—15.
- Kalashnikov N. V. *O bezzamkovykh brahiopodakh karbona Severnogo Urala i ih ekologii* (On the Inarticulate Carboniferous Brachiopods of the Northern Urals and their ecology). Fauna and flora of the Paleozoic of the North-East of the European part of the USSR. Leningrad: Nauka, 1970a, pp. 5—15.
- Калашиников Н. В. Раннекаменноугольные брахиоподы Печорского Урала. Л.: Наука, 1974. 220 с.
- Kalashnikov N. V. *Rannekamennougol'nye brahiopody Pechorskogo Urala* (Early Carboniferous brachiopods of the Pechora Urals). Leningrad: Nauka, 1974, 220 p.
- Калашиников Н. В. Нижнекаменноугольные отложения бассейна реки Уньи // Стратиграфия каменноугольных отложений западного склона Северного и Приполярного Урала. Сыктывкар, 1970б. № 11. С. 25—40.
- Kalashnikov N. V. *Nizhnekamennougol'nye otlozheniya bassejna reki Un'i* (Lower Carboniferous deposits of the Unya river basin). Stratigraphy of the Carboniferous deposits of the western slope of the Northern and Subpolar Urals. Syktyvkar, 1970b, No. 11, pp. 25—40.
- Калашиников Н. В. Брахиоподовая зона *Delepinea uralica* в разрезе нижнего карбона Западного Урала // Обоснование границ стратиграфических подразделений. Сыктывкар, 1994. С. 57—63. (Тр. Ин-та геол. КНЦ УрО РАН, вып. 82).
- Kalashnikov N. V. *Brahiopodovaya zona Delepinea uralica v razreze nizhnego karbona Zapadnogo Urala* (The *Delepinea uralica* brachiopod Zone in the Lower Carboniferous section of the Western Urals). Justification of the boundaries of stratigraphic units. Syktyvkar, 1994, 82, pp. 57—63.
- Калашиников Н. В. Новые роды *Uralochoristites* и *Kosvaspirifer* в нижнем карбоне // Сыктывкарский палеонтологический сборник № 5. Сыктывкар, 2003. С. 67—78. (Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. Вып. 114).
- Kalashnikov N. V. *Novye rody Uralochoristites i Kosvaspirifer v nizhnem karbone* (New genera *Uralochoristites* and *Kosvaspirifer* in the Lower Carboniferous). Sykt. Paleont. Coll. Syktyvkar, 2003, 114, No. 5, pp. 67—78.
- Калашиников Н. В. Экосистемы раннего карбона Европейского Севера России. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 164 с.
- Kalashnikov N. V. *Ekosistemy rannego karbona Evropejskogo severa Rossii* (Ecosystems of Early Carboniferous of European Northeast of Russia). Yekaterinburg: UB RAS, 2005, 164 p.
- Коперина В. В. Отчет по геологической съемке верхнего течения р. Адзвы и р. Хайпудыры в 1932 г. // Землеведение. Т. 35. Вып. 4. 1933. С. 314—337.
- Koperina V. V. *Otchet po geologicheskoy s'emke verhnego techeniya r. Adz'vy i r. Khaipudyry v 1932 g.* (Report on the geological survey of the upper reaches of the rivers Adzva and Khaipudyr in 1932). Zemlevedenie, 1933, V. 35, 4, pp. 314—337.
- Кучева Н. А. Описание брахиопод *Datangia praemoderatus* (Sar.) из стратотипа каменско-уральского горизонта (восточный склон Среднего Урала) // Тр. ИГТ УрО РАН. Екатеринбург, 2018. № 165. С. 20—24.
- Kucheva N. A. *Opisanie brahiopod Datangia praemoderatus* (Sar.) iz stratotipa kamensko-ural'skogo gorizonta (vostochnyj sklon Srednego Urala) (Description of the brachiopod *Datangia praemoderatus* (Sar.) from the stratotype of the Kamensk-Ural Regional Stage (eastern slope of the Middle Urals)). Proc. IGG UB RAS. Yekaterinburg, 2018, No. 165, pp. 20—24.
- Кучева Н. А. Распространение брахиопод в отложениях нижней части визейского яруса Восточно-Уральского субрегиона // Литосфера. 2019. Т. 19. № 1. С. 59—80.
- Kucheva N. A. *Rasprostranenie brahiopod v otlozheniyakh nizhnej chasti vizejskogo yarusy Vostochno-Ural'skogo subregiona* (Distribution of brachiopods in the Lower Visean deposits in the Eastern Urals). Litosfera, 2019, V. 19, No. 1, pp. 59—80.
- Кучева Н. А. Влияние серпуховско-башкирского события на разнообразие брахиопод Среднего и Южного Урала // Литосфера. 2020. Т. 20. № 1. С. 18—39.
- Kucheva N. A. *Vliyanie serpuhovsko-bashkirskogo sobytiya na raznoobrazie brahiopod Srednego i Yuzhnogo Urala* (Effect of the Mid-Carboniferous event on the diversity of brachiopods in the Middle and Southern Urals). Litosfera, 2020, V. 20, No. 1, pp. 18—39.
- Лапина Н. Н., Гарань И. М., Гусева С. Н. и др. *Brachiopoda* (Брахиоподы) // Палеонтологический атлас каменноугольных отложений Урала. Л., 1975. С. 154—203. (Тр. ВНИГРИ; Вып. 383).
- Lapina N. N., Garan' I. M., Guseva S. N. et al. *Brachiopoda* (Brachiopoda) (Brachiopoda (Brachiopods)). Palaeontological atlas of the Carboniferous deposits of the Urals. Leningrad: VNIGRI, 1975, 383, pp. 154—203.
- Литвинович Н. В., Воронцова Т. Н. К вопросу о ревизии рода *Gigantoproductus* Prentice // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1983. Т. 58. Вып. 1. С. 81—94.
- Litvinovich N. V., Voroncova T. N. *K voprosu o revizii roda Gigantoproductus Prentice* (On the issue of the revision of the genus *Gigantoproductus* Prentice). Bulletin of the MOIP Dep. geol., 1983, V. 58, 1, pp. 81—94.
- Литвинович Н. В., Воронцова Т. Н. Гигантоидные брахиоподы СССР, их распространение и стратиграфическое значение. М.: Наука, 1991. 61 с.
- Litvinovich N. V., Voroncova T. N. *Gigantoidnye brahiopody SSSR, ih rasprostranenie i stratigraficheskoe znachenie* (Gigantoids brachiopods of the USSR, their distribution and stratigraphical significance). Moscow: Nauka, 1991, 61 p.
- Меллер В. И. Геологические и палеонтологические заметки об осадках горноизвестковой формации отклонов хребта Уральского // Горный журнал. 1862. Кн. 11. С. 163—208.
- Meller V. I. *Geologicheskie i paleontologicheskie zametki ob osadkakh gornoizvestkovoy formacii otklonov hrebta Ural'skogo* (Geological and paleontological notes on the sediments of the limestone formation of the slopes of the Ural Ridge). Mining J., 1862, V. 11, pp. 163—208.
- Морозов П. Е., Беляева Н. Г. Ревизия рода *Semiplanus* (Brachiopoda) // Палеонт. журнал. 1986. № 2. С. 39—49.
- Morozov P. E., Belyaeva N. G. *Reviziya roda Semiplanus* (Brachiopoda) (Revision of the genus *Semiplanus* (Brachiopoda)). Paleont. J., 1986, No. 2, pp. 39—49.
- Наливкин Д. В., Фотиева Н. Н. Брахиоподы пограничных отложений турнейского и визейского ярусов западного склона Урала. М.: Наука, 1973. 119 с.
- Nalivkin D. V., Fotieva N. N. *Brahiopody pogranichnykh otlozhenij turnejskogo i vizejskogo yarusov zapadnogo sklona*

- Urala (Brachiopods of the boundary deposits of the Tournaisian and Viséan of the western slope of the Urals). Moscow: Nauka, 1973, 119 p.
- Наливкин Д. В. Брахиоподы турнейского яруса Урала. Л.: Наука, 1979. 248 с.
- Nalivkin D. V. *Brachiopody turnejskogo yarusa Urala* (Brachiopods of the Tournaisian of the Urals). Leningrad: Nauka, 1979, 248 p.
- Объяснительная записка к унифицированным и корреляционным стратиграфическим схемам Урала. Ч. 1. Свердловск: ИГТ УНЦ АН СССР; ВСЕГЕИ; ПГО «Уралгеология». 1980. 153 с.
- Obyasnitelnaya zapiska k unificirovannym i korrelyacionnym stratigraficheskim skhemam Urala (Explanatory note to the unified and correlation stratigraphic schemes of the Urals. Vol. 1). Sverdlovsk: IGG USSR AS; VSEGEI; PGO "Uralgeologiya", 1980, 153 p.
- Основы палеонтологии. Мшанки, брахиоподы. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 344 с.
- Osnovy paleontologii. Mshanki, brachiopody (Fundamentals of paleontology. Vol. bryozoans, brachiopods). Moscow: Rus. Acad. Sci., 1960, 344 p.
- Пахневич А. В. Пористые девонские и раннекарбоновые ринхонеллиды (Brachiopoda) Закавказья // Палеонт. журн. 2022. № 4. С. 23–31.
- Pahnevich A. V. *Poristye devonskie i rannekarbonovye rinchonellidy (Brachiopoda) Zakavkaz'ya* (Punctate Devonian and Early Carboniferous Rhynchonellids (Brachiopoda) of Transcaucasia). Paleont. J., 2022, No. 4, pp. 23–31.
- Пахневич А. В., Соболев Д. Б. Новые находки брахиопод надсемейства Lambdarinoidea (отряд Rhynchonellida) из верхнего турне гряды Чернышева и бассейна р. Кожим // Палеострат-2022. Тезисы докладов. М.: ИТО Палеонт. ин-та им. А.А. Борисяка РАН, 2022. С. 52.
- Pahnevich A. V., Sobolev D. B. *Novye nahodki brachiopod nadsemejstva Lambdarinoidea (otryad Rhynchonellida) iz verhnego turne gryady Chernysheva i bassejna r. Kozhim* (New finds of brachiopods of the superfamily Lambdarinoidea (order Rhynchonellida) from the upper Tournaisian of the Chernyshev Ridge and the basin of the Kozhim river). Paleostrat-2022. Moscow: PI RAS, 2022, p. 52.
- Поletaев В. И. Новые виды спириферид (брахиоподы) из девона и карбона Восточной Европы // Палеонт. журнал. 2006. № 5. С. 39–48.
- Poletaev V. I. *Novye vidy spiriferid (brachiopody) iz devona i karbona Vostochnoj Evropy* (New species of spiriferids (brachiopods) from the Devonian and Carboniferous of Eastern Europe). Paleont. J., 2006, No. 5, pp. 39–48.
- Поletaев В. И. Атлас-определитель каменноугольных спириферид Восточной Европы. Киев: Нац. Ак. наук Украины, Институт геол. наук, 2018. 408 с.
- Poletaev V. I. *Atlas-opredelitel' kamennougol'nyh spiriferid Vostochnoj Evropy* (Atlas key to the Carboniferous spiriferides of Eastern Europe). Kiev: Acad. nauk Ukrainy, Institut geol. nauk, 2018, 408 p.
- Решения Межведомственного совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем верхнего докембрия и палеозоя Русской платформы, 1962 г. Л.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1965. 79 с.
- Resheniya Mezhvedomstvennogo soveshchaniya po razrabotke unificirovannyh stratigraficheskikh skhem verhnego dokembriya i paleozoya Russkoj platformy (Decisions of interdisciplinary meeting on development of the unified stratigraphic charts of Upper Pre-Cambrian and Palaeozoic of Russian Platform), 1962. Leningrad: VSEGEI, 1965, 79 p.
- Решения совещания по рассмотрению материалов к унифицированной и корреляционной стратиграфической схеме карбона Урала и палеонтологических коллоквиумов. Пермь: Ротапринт Перм. политех. института, 1975. 60 с.
- Resheniya soveshchaniya po rassmotreniyu materialov k unificirovannoj i korrelyacionnoj stratigraficheskoj skheme karbona Urala i paleontologicheskikh kollokviumov (Decisions of the meeting on the consideration of materials for a unified and correlation stratigraphic scheme of the Carboniferous of the Urals and paleontological colloquia). Perm: Rotaprint Perm. Polytech. Inst., 1975, 60 p.
- Сарычева Т. Г. Нижнекаменноугольные продуктиды Подмосковского бассейна (роды Striatifera, Linoproductus и Cancrinella). М.-Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1937. Тр. Палеозоол-го ин-та. Т. 6. Вып. 1. 123 с.
- Sarycheva T. G. *Nizhnekamennougol'nye produktidy Podmoskovnogo bassejna (rody Striatifera, Linoproductus i Cancrinella)* (Lower Carboniferous productids of the Moscow Basin (genera Striatifera, Linoproductus and Cancrinella)). Moscow-Leningrad: Rus. Acad. Sci., 1937, V. 6, 1, 123 p.
- Сарычева Т. Г., Сокольская А. Н. Определитель палеозойских брахиопод Подмосковной котловины. М.: Изд-во АН СССР, 1952. Тр. ПИН АН СССР. Т. 38. 307 с.
- Sarycheva T. G., Sokol'skaya A. N. *Opredelitel' paleozojskih brachiopod Podmoskovnoj kotloviny* (Key to the Paleozoic brachiopods of the Moscow Basin). Moscow: Rus. Acad. Sci., 1952, V. 38, 307 p.
- Сарычева Т. Г., Легран-Блан М. Семейство Semiplanidae (Brachiopoda), его состав и развитие // Палеонт. журнал. 1977. № 2. С. 70–82.
- Sarycheva T. G., Legran-Blan M. *Semejstvo Semiplanidae (Brachiopoda), ego sostav i razvitie* (Family Semiplanidae (Brachiopoda), composition and development). Paleont. J. 1977, No. 2, pp. 70–82.
- Соболев Д. Б. Остракоды и биостратиграфия турнейского яруса севера Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 94 с.
- Sobolev D. B. *Ostrakody i biostratigrafiya turnejskogo yarusa severa Urala* (Ostracodes and biostratigraphy of Tournaisian stage in the North of the Urals). Yekaterinburg: UB RAS, 2005, 94 p.
- Состояние изученности стратиграфии докембрия и фанерозоя России. Задачи дальнейших исследований // Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 38. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. 131 с.
- Sostoyanie izuchennosti stratigrafii dokembriya i fanerozoya Rossii. Zadachi dal'nejshih issledovanij (State of knowledge of Precambrian and Phanerozoic stratigraphy in Russia. Tasks for further research). Resolutions of the Inter. Strat. Com. St. Petersburg: VSEGEI, 2008, 38, 131 p.
- Степанова Т. И., Кучева Н. А. Разрез «Худолаз» — стратотип горизонтов субрегиональной схемы нижнекаменноугольных отложений восточного склона Урала // Литосфера. 2006. № 1. С. 45–75.
- Stepanova T. I., Kucheva N. A. *Razrez "Hudolaz" — stratotip horizontov subregional'noj skhemy nizhnekamennougol'nyh otlozhenij vostochnogo sklona Urala* (The "Khudolaz" — section as a stratotype of horizons of a sub-



- region scheme of the Urals Eastern slope Lower Carboniferous deposits). *Litosfera*, 2006, No. 1, pp. 45–75.
- Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). Екатеринбург: Межведомств. стратиграф. комитет России, 1993. 151 л.
- Stratigraficheskiye skhemy Urala (dokembriy, paleozoy) (Stratigraphic schemes of the Urals (Precambrian, Paleozoic)). Yekaterinburg: Inter. Strat. Rus. Com, 1993, 151 sheets.
- Унифицированные и корреляционные стратиграфические схемы Урала. Л.: ВСЕГЕИ, 1968. 32 л.
- Unificirovanniye i korrelyacionniye stratigraficheskiye skhemy Urala (Unified and Correlation Stratigraphic Schemes of the Urals). Leningrad, 1968, 32 sheets.
- Унифицированные и корреляционные стратиграфические схемы Урала. Свердловск: ИГТ УНЦ АН СССР, 1980. 123 л.
- Unificirovannnye i korrelyacionnyye stratigraficheskiye skhemy Urala (Unified and correlation Stratigraphic Schemes of the Urals). Sverdlovsk: IGG UB RAS, 1980, 123 sheets.
- Федоров Е. С. Геологические исследования в Северном Урале в 1887–1889 гг. Отчет о деятельности геологической партии Северной экспедиции. СПб.: Тип-я П. П. Сойкина, 1898. 216 с.
- Fedorov E. S. *Geologicheskie issledovaniya v Severnom Urale v 1887–1889 gg.* (Geological research in the Northern Urals in 1887–1889). St. Petersburg: Print. P.P. Soikina, 1898, 216 p.
- Фотиева Н. Н. Турнейские хонетиды Тимано-Печорской провинции // Палеонт. журнал. 1961. № 4. С. 100–108.
- Fotieva N. N. *Turnejskie honetidy Timano-Pechorskoj provincii* (Tournaisian honetids of the Timan-Pechora province). *Paleont. J.*, 1961, No. 4, pp. 100–108.
- Фотиева Н. Н. Турнейские продукты Средней Печоры // Биостратиграфия нефтегазоносных областей СССР. М.: Наука, 1964. С. 3–13.
- Fotieva N. N. *Turnejskie produktidy Srednej Pechory* (Tournaisian productids of the Middle Pechora). *Biostratigraphy of oil and gas bearing regions of the USSR*. Moscow: Nauka, 1964, pp. 3–13.
- Фотиева Н. Н. Распределение брахиопод в пограничных отложениях девона и карбона Верхнепечорского района // Проблемные вопросы стратиграфии нефтегазоносных областей Советского Союза. М.: ИГиРГИ, 1973. С. 104–113.
- Fotieva N. N. *Raspredelenie brahiopod v pogranichnykh otlozheniyah devona i karbona Verhnepechorskogo rajona* (Distribution of brachiopods in the boundary sediments of the Devonian and Carboniferous of the Verkhnyaya Pechora region). *Problematic issues of stratigraphy of oil and gas regions of the Soviet Union*. Moscow: IGIRGI, 1973, pp. 104–113.
- Фотиева Н. Н. Определитель брахиопод пограничных отложений девона и карбона. М.: Наука, 1985. 80 с.
- Fotieva N. N. *Opredelitel' brahiopod pogranichnykh otlozhenij devona i karbona* (Key to the brachiopods of the Devonian and Carboniferous boundary deposits). Moscow: Nauka, 1985, 80 p.
- Фредерикс Г. Н. *Daviesiella gigantea* из Большеземельской тундры и сопровождающие ее формы // Тр. Минер. музея АН СССР. Т. 1. Л., 1926. С. 29–46.
- Frederiks G. N. *Daviesiella gigantea iz Bol'shezemel'skoj tundry i soprovozhdayushchie ee formy* (Daviesiella gigantea from the Bolshezemel'skaya tundra and accompanying forms). Leningrad: Min. Muz. Rus. Acad. Sci. 1926, V. 1, pp. 29–46.
- Чернов А. А., Чернов Г. А. Геологическое строение бассейна р. Косью в Печорском крае. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1940. 103 с.
- Chernov A. A., Chernov G. A. *Geologicheskoe stroenie bassejna r. Kos'yu v Pechorskom krae* (The geological structure of the Kosyu river basin in the Pechora region). Moscow-Leningrad: Rus. Acad. Sci., 1940, 103 p.
- Чернов Г. А. Нижний карбон Печорской гряды // Сборник трудов по геологии и палеонтологии АН СССР. Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1960. С. 56–93.
- Chernov G. A. *Nizhnij karbon Pechorskoj gryady* (Lower Carboniferous of the Pechora Ridge). *Coll. of works on geol. and paleontol. of the Acad. of Sci. of the USSR*. Syktyvkar: Komi Branch. Rus. Acad. Sci., 1960, pp. 56–93.
- Чермных В. А. Стратиграфия карбона севера Урала. Л.: Наука, 1976. 303 с.
- Chermnyh V. A. *Stratigrafiya karbona severa Urala* (Stratigraphy of the Carboniferous in the North of the Urals). Leningrad: Nauka, 1976, 303 p.
- Шиманский В. Н. Гигантеллы визейских отложений рек Подчерем, Щугор, Вуктыл и бассейна Верхней Печоры (Северный Урал) // Уч. зап. МГПИ. Т. 23. М.: Кафедра геологии, 1940. Вып. 2. С. 83–122.
- Shimanskij V. N. *Gigantelly vizejskikh otlozhenij rek Podcherem, Schugor, Vuktyl i bassejna Verhnej Pechory (Severnyj Ural)* (Gigantella from the Visean deposits of the Podcherem, Shchugor, Vuktyl rivers and the Upper Pechora basin (Northern Urals)). *Uch. zap. MGPI*. Moscow: Kafedra geologii, 1940, V. 23, 2, pp. 83–122.
- Щербаков О. А., Постоялко М. В., Щербакова М. В. и др. Схема стратиграфии каменноугольных отложений Урала // Объяснительная записка к стратиграфическим схемам Урала (докембрий, палеозой). Екатеринбург: ИГТ УрО РАН; Уралгеолком, 1994. С. 97–127.
- Shcherbakov O. A., Postoyalko M. V., Shcherbakova M. V. et al. *Skhema stratigrafii kamennougol'nykh otlozheniy Urala* (Scheme of stratigraphy of the Carboniferous of the Urals). *Explanatory note*. Yekaterinburg: IGG Ural Branch RAS; Uralgeolkom, 1994, pp. 97–127.
- Эйно О. Л. К стратиграфии карбона гряды Чернышева // Докл. АН СССР. 1948. Т. 61. № 1. С. 113–115.
- Ejnor O. L. *K stratigrafii karbona gryady Chernysheva* (On the Carboniferous stratigraphy of the Chernyshev Ridge). Moscow: Rus. Acad. Sci., 1948, Vol. 61, No. 1., pp. 113–115.
- Эйно О. Л. Распространение брахиопод в морях каменноугольного периода на территории СССР // Стратиграфия и биогеография морей и суши каменноугольного периода на территории СССР. Киев: Вища школа, 1975. С. 132–140.
- Ejnor O. L. *Rasprostranenie brahiopod v moryah kamennougol'nogo perioda na territorii SSSR* (Distribution of brachiopods in the seas of the Carboniferous period on the territory of the USSR). *Stratigraphy and biogeography of seas and land of the Carboniferous period on the territory of the USSR*. Kyiv: High school, 1975, pp. 132–140.
- Алексеева Р. Е., Афанасьева Г. А., Гречихникова И. А. et al. Devonian and Carboniferous Brachiopods and Biostratigraphy of Transcaucasia // *Paleontol. J.* 2018. V. 52. Pp. 829–967.

- Angiolini L., Crippa G., Azmy K. et al. The giants of the phylum Brachiopoda: A matter of diet? // *Palaeontology*. 2019. Vol. 62. Pp. 889–917.
- Angiolini L., Cisterna G., Mottequin B., Shen S., Muttoni G. Global Carboniferous brachiopod biostratigraphy // *Geol. Soc., London, Special Publications*. 2021. Vol. 512. Pp. 497–550.
- Aretz M., Legrand-Blain M., Vachard D. et al. Gigantoproductid and allied productid brachiopods from the “Calcaires à Productus” (late Viséan-Serpukhovian; Montagne Noire, southern France): Taxonomy and palaeobiogeographical position in the Palaeotethys // *Geobios*. 2019. Vol. 55. Pp. 17–40.
- Bahramanesh M., Angilioni L., Antonelli A. et al. Tournaisian (Mississippian) brachiopods from the Mobarak Formation, North Iran // *GeoArabia*. 2011. Vol. 16. No. 3. Pp. 129–192.
- Balinski A., Sun Y. Micromorphic brachiopods from the Lower Carboniferous of South China, and their life habits // *Fossils and Strata*. 2008. Vol. 54. Pp. 105–115.
- Brunton C. H. C. Suborder Productidina // *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part H. Brachiopoda. Revised*. Geol. Soc. Amer., Inc., Univ. Kansas. Boulder, Colorado, and Lawrence, Kansas. 2000. Vol. 2. Pp. 424–609.
- Buening N. Brachiopod shells, records of the present and keys to the past // *Paleontological Society Papers*. 2001. Vol. 7. Pp. 117–143.
- Carniti A. P., Della Porta G., Banks V. J., Stephenson M. H., Angiolini L. Brachiopod fauna from uppermost Visean (Mississippian) mud mounds in Derbyshire, UK // *Acta Palaeontologica Polonica*. 2022. Vol. 67. No. 4. Pp. 865–915.
- Carter J. L. Spiriferoidea // *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part H. Brachiopoda. Revised*. Geol. Soc. Amer., Inc., Univ. Kansas. Boulder, Colorado, and Lawrence, Kansas. 2006. Vol. 5. Pp. 1769–1811.
- Carter J. L., Brezinski D., Kollar A. et al. Brachiopoda taxonomy and biostratigraphy of the Redwall limestone (Lower Mississippian) of Arizona // *Annals of Carnegie Museum*. 2014. Vol. 82. No. 3. Pp. 257–289.
- Emig C. C., Bitner M. A., Álvarez F. Scientific death-knell against databases? Errors induced by database manipulations and its consequences // *Carnets Geol.* 2015. Vol. 15. No. 16. Pp. 231–238.
- Grossman E., Yancey T., Jones T., Bruckschen P., Chuvashov B., Mazzullo S., Mii H. Glaciation, aridification, and carbon sequestration in the Permo-Carboniferous: The isotopic record from low latitudes // *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*. 2008. Vol. 268. Pp. 222–233.
- Halamski A. T. Seventh International Brachiopod Congress Nanjing, China, 22-25 May 2015. 2016. <http://paleopolis.rediris.es/BrachNet/REF/Pub/halamski-2016.html> (дата обращения 19.07.23).
- Keyserling A. A. Wissenschaftliche Beobachtungen auf einer Reise in das Petschora-Land, im Jahre 1843 (Scientific Observations on a Journey to the Pechora Land, 1843). St.-Peterburg, 1846. Pp. 149–465.
- Lee S., Shi G. R., Park T. et al. Virtual palaeontology: The effects of mineral composition and texture of fossil shell and hosting rock on the quality of X-ray microtomography (XMT) outcomes using palaeozoic brachiopods // *Palaeontologia Electronica*. 2017. Vol. 20. No. 2. Pp. 1–25.
- Li N., Wang C.W., Zong P., Mao Y.Q. Coevolution of global brachiopod palaeobiogeography and tectonopalaeogeography during the Carboniferous // *Journal of Palaeogeography*. 2021. Vol. 10. No. 18. Pp. 1–18.
- Mateos-Carralafuente J. R., Coronado I., Cruz J. A. et al. Diagenetic and Biological Overprints in Geochemical Signatures of the *Gigantoproductus* Tertiary Layer (Brachiopoda): Assessing the Paleoclimatic Interpretation // *Life*. 2023. Vol. 13. No. 3. 27 p.
- Mottequin B., Brice D., Legrand-Blain M. Biostratigraphic significance of brachiopods near the Devonian-Carboniferous boundary // *Geol. Mag.* 2014. Vol. 151. No. 2. Pp. 216–228.
- Mottequin B., Weyer D. On some Mississippian (Carboniferous) brachiopods from neptunian dykes of the Harz Mountains (central Germany) // *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*. 2019. Vol. 99. No. 3. Pp. 447–475.
- Mottequin B., Poty E. Brachiopods from the historical type area of the Viséan Stage (Carboniferous, Mississippian; Belgium) and the Visé fauna: preliminary remarks // *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*. 2022. Vol. 102. No. 2. Pp. 351–371.
- Muszer J. A new species of *Lambdarina* (Rhynchonellida, Brachiopoda) from the Visean of central Sudetes (Poland) and its phylogenetic position // *Acta Geologica Polonica*. 2014. Vol. 64. No. 1. Pp. 1–12.
- Popp B. N., Anderson T. F., and Sandberg P. A. Brachiopods as indicators of original isotopic compositions in some Paleozoic limestones // *GSA Bulletin*. 1986. Vol. 97. No. 10. Pp. 1262–1269.
- Richards B. C., Nikolaeva S. V., Alekseev A. S. et al. A candidate for the Global Stratotype Section and Point at the base of the Serpukhovian in the South Urals, Russia // *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2017. Vol. 25. No. 7. Pp. 697–758.
- Shen S. Z., Qiao L., Zhang Y., Sun Y. L. and Jin Y. G. Carboniferous brachiopod genera on type species of China // *Phanerozoic Brachiopod Genera of China*. Vol. 2. Beijing: Science Press, 2017. Pp. 559–649.
- Sun Y., Baliński A. Silicified Mississippian Brachiopods from Muhua, Southern China: Rhynchonellides, Athyridides, Spiriferides, Spiriferinides, and Terebratulides // *Acta Palaeontologica Polonica*. 2011. Vol. 56. No. 4. Pp. 793–842.
- Tazawa Jun-Ichi. Early Carboniferous (Mississippian) Brachiopods from the Hikoroichi Formation, South Kitakami Belt, Japan // *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*. 2018. No. 17. Pp. 27–87.
- Tazawa Jun-Ichi, Sato Kiichi, Takenouchi Ko. Delepinea and Davisella (Chonetoida, Brachiopoda) from the Lower Carboniferous of Omi, Central Japan // *Sci. Rep., Niigata Univ. (Geology)*. 2005. No. 20. Pp. 1–13.
- Treatise on Invertebrate Paleontology. Part H. Brachiopoda. Revised*. // Geol. Soc. Amer., Inc., Univ. Kansas. Boulder (Colorado) and Lawrence (Kansas), 1997. V. 1. Pp. 1–539; 2000. V. 2, 3. Pp. 1–423, 424–919; 2002. V. 4. Pp. 921–1688; 2006. V. 5. Pp. 1689–2320; 2007. V. 6. Pp. 2321–3226.
- Zakowa H. Upper Visean gigantoproductoid brachiopods from the Gory Swietokrzyskie, Poland // *Annales Societatis geologorum Poloniae, Krakow*. 1985. Vol. 55. Pp. 105–126.



Монацит щелочных рудных метасоматитов Нижнемезенского рудного поля (Средний Тиман): Th-U-Pb-данные

О. В. Удоратина¹, А. А. Вирюс², И. В. Козырева¹

¹Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; udoratina@geo.komisc.ru; kozyreva@geo.komisc.ru

²Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка; mukhanova@iem.ac.ru

Монацит из редкометалльно-редкоземельных щелочных метасоматитов Нижнемезенского проявления Среднего Тимана имеет преимущественно цериевый состав ($\text{Ce}_2\text{O}_3 > \text{La}_2\text{O}_3$). Средневзвешенная величина точечного (Th-U-Pb, CHIME) возраста монацитов составила (564 ± 27) млн лет, возраст монацитов, полученный по изохроне $\text{ThO}_2^*-\text{PbO}$, равен (566 ± 127) млн лет. Монациты близки по времени формирования к монацитам Новобобровского рудного поля и вендским магматическим образованиям (ультраосновным породам и карбонатитам четласского комплекса), сформированным в результате плюмового импульса.

Ключевые слова: монацит, Th-U-Pb-метод, Средний Тиман.

Monazite of alkaline ore metasomatites of the Lower Mezen ore field (Middle Timan): Th-U-Pb-data

O. V. Udoratina¹, A. A. Viryus¹, I. V. Kozyreva¹

¹Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktывkar

²Institute of experimental mineralogy RAS, Chernogolovka

Monazite from rare-metal-rare-earth alkaline metasomatites of the Lower Mezen occurrence of the Middle Timan has a predominantly cerium composition ($\text{Ce}_2\text{O}_3 > \text{La}_2\text{O}_3$). The weighted average value of the point (Th-U-Pb, CHIME) age of monazites was (564 ± 27) Ma, the age of monazites, obtained from the $\text{ThO}_2^*-\text{PbO}$ isochrone, is (566 ± 127) Ma. The age of the monazite is close in time to the monazites of the Novobobrovsky ore field and the Vendian igneous formations (ultramafic rocks and carbonatites of the Chetlas Complex) formed as a result of a plume pulse.

Keywords: monazite, Th-U-Pb-method, Middle Timan.

Введение

Монацит является одним из ведущих минералов комплексных редкометалльно-торий-редкоземельных руд Нижнемезенского рудного поля (Косьюский рудный узел, Четласский Камень, Средний Тиман).

По данным предшественников и нашим данным, монацит в различных проявлениях Косьюского рудного узла наблюдается как в карбонатитах и породах жильного комплекса (кварц-карбонатных, кварц-полевошпатовых жилах с гетитом и гематитом), так и в фенитах, развитых по метатерригенным породам, вмещающим оруденение (четлаская серия: светлинская, новобобровская, визингская свиты), а также в магматических ультраосновных породах (лампрофитрах, щелочных пикритах) четласского комплекса (Ивенсен, 1964; Ковальчук и др., 2013; Nedosekova et al., 2021).

Возраст пород субстрата (метатерригенные породы визингской свиты) — позднерифейский (Удоратина и др., 2017), возраст магматических пород соответствует уровню 600 млн лет: ($600 \pm 15(30)$) — K-Ar-метод по флогопитам (Андреичев, Степаненко, 1983; (598.1 ± 6.2) млн лет — Ar-Ar-метод по флогопиту (Удоратина и др., 2023). Возраст монацита из щелочных метасоматитов Новобобровского рудного по-

ля, полученный ранее методом Th-U-Pb (CHIME), составляет (552 ± 31) млн лет (Удоратина и др., 2015). Также ранее получен $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст (млн лет) по микроклину щелочных метасоматитов Новобобровского (564.0 ± 7.8) и Октябрьского (две стадии — 541 ± 6 и 513 ± 4) рудных полей (Удоратина и др., 2020, 2021).

Целью исследований является установление времени формирования комплексной редкометалльно-редкоземельной минерализации Нижнемезенского проявления по рудному минералу — монациту.

Методы исследования

Исследовались аншлифы из рудных зон: фенитизированных (микроклинизированных) кварцитопесчаников (MEZ-1-1, 2015 г.) и брекчированных микроклинитов (KM4-2, 2016 г.). Аншлифы (диаметр 2.5×0.5 см) представляют собой фрагменты сколков штучных образцов (размер $10 \times 5 \times 2$ см), запрессованных в эпоксидную смолу и отполированных со стороны образца. Штучные образцы отобраны по полотну расчистки стык в стык на протяжении 2 м зачищенного участка канавы. Для исследования отобраны участки с видимым ожелезнением (обохренностью), отличающиеся от неизмененных, вмещающих «рудную зону» серых

Для цитирования: Удоратина О. В., Вирюс А. А., Козырева И. В. Монацит щелочных рудных метасоматитов Нижнемезенского рудного поля (Средний Тиман): Th-U-Pb-данные // Вестник геонаук. 2023. 7(343). С. 17–26. DOI: 10.19110/geov.2023.7.2

For citation: Udoratina O. V., Viryus A. A., Kozyreva I. V. Monazite of alkaline ore metasomatites of the Lower Mezen ore field (Middle Timan): Th-U-Pb-data. Vestnik of Geosciences, 2023, 7(343), pp. 17–26, doi: 10.19110/geov.2023.7.2

кварцитопесчаников розовато-бежевым цветом, наличием отчетливой брекчированной структуры. Предварительно для выявления скрытой зональности состав минералов, слагающих рудную зону, исследован на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 LMN с энергодисперсионной приставкой X-MAX 50 mm² Oxford instruments. На СЭМ Thermo Fischer Scientific Axia ChemiSEM с выдвигаемым детектором катодолюминесценции RGB с диапазоном обнаружения длин волн 350—850 нм получены катодолюминесцентные изображения монацита (ЦКП «Геонаука», Сыктывкар, А. С. Шуйский). Здесь же определены породообразующие компоненты (классическим химическим анализом, О. В. Кокшарова) и содержание редких, рассеянных и редкоземельных элементов (ICP MS, Г. В. Игнатьев).

Определение элементного состава монацитов выполняли методом электронно-зондового рентгено-спектрального анализа (ЭЗРСА) на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Tescan Vega II XMU с энергодисперсионным (ЭДС) INCAx-sight и волновым (ВДС) INCA wave 700 рентгеновскими спектрометрами (ИЭМ РАН, Черноголовка). Поскольку для установления возраста монацитов методом CHIME необходимо определить содержания Th, U, Pb, для повышения чувствительности ЭЗРСА был выбран режим работы РЭМ INCA Energy, который позволяет одновременно работать с ЭДС и ВДС. Таким образом, содержания Th, U, Pb определяли с помощью ВДС, используя кристалл-анализатор PET. В качестве аналитических линий были выбраны: для Th — $\text{ThM}\alpha_{1,2}$, для U — $\text{UM}\alpha_{1,2}$, Pb — $\text{PbM}\alpha_{1,2}$. Фон измеряли симметрично с двух сторон от аналитических линий. Время набора интенсивности на аналитической линии $\text{ThM}\alpha_{1,2}$ составляло 30 с, фон по 15 с, на линии $\text{UM}\alpha_{1,2}$ — 80 с, фон по 40 с, на линии $\text{PbM}\alpha_{1,2}$ — 50 с, фон по 25 с. В качестве стандартов для определения содержаний Th использовали ThO_2 , U — UO_2 , Pb — PbTe . Остальные элементы, входящие в состав монацитов, определяли с помощью ЭДС. Время набора энергодисперсионного спектра составляло 100 с. Измерения на ВДС и ЭДС выполняли одновременно при ускоряющем напряжении 20 кВ, токе поглощенных электронов 50 нА, размере зонда 2 мкм и рабочем расстоянии 25 мм. Результаты ЭЗРСА монацитов представлены в табл. 1, где также приведены используемые при количественном анализе эталоны. Пределы обнаружения по 2 σ -критерию составляли: для Th — 0.09, U — 0.02, Pb — 0.03 (мас. %). Возраст монацита рассчитывали методом CHIME (chemical Th-U-total Pb isochron method, Suzuki, Adachi, 1991). Для расчета средневзвешенной величины точечного возраста использовали программу Isoplot 3.66 (Ludwig, 1999).

Результаты

Опробованное Нижнемезенское проявление (рудное поле) в верховьях р. Мезень (рис. 1, а, б) наряду с другими рудными полями (Октябрьское, Новобобровское, Верхнебобровское, Косьюское) на Четласском Камне Среднего Тимана составляют Косьюский рудный узел.

Особенностями развития комплексной редкометалльно-редкоземельной минерализации в пределах

рудного узла являются: 1) приуроченность к тектоническим нарушениям северо-восточного направления (к этой же системе относятся и дайковые тела щелочных пикритов, связанных с карбонатитами, а также породы одноименного жильного комплекса (альбититов, кварц-полевошпатовых, кварц-полевошпатокарбонатных с гетитом, гематитом и связанных с ними фенитов); 2) развитие этих нарушений и зон минерализации в кварцитопесчаниках четласской серии: светлинской (Октябрьское), светлинской и новобобровской (Новобобровское), визингской (Косьюское, Нижнемезенское) свит.

На Нижнемезенском проявлении, на вскрытых расчистками, канавами и шурфами участках рудная минерализация приурочена к зонам неоднократного катаклаза как вмещающих метапесчаников поздне-рифейской визингской свиты, так и собственно кварц-полевошпатовых жил четласского жильного комплекса (рис. 1, с). Жильные образования прослежены на первые десятки метров по простиранию и первые метры по мощности. Монациты отобраны из пород «Большой жилы», вскрытых поверхностной горной выработкой (расчисткой по ранней канаве). Тело «Большой жилы» сложено катаклазированным материалом, четко контактирующим с вмещающими кварцитопесчаниками, при этом фиксируется, что неизмененные серые кварцитопесчаники сменяются фенитизированными (микроклизированными кварцитопесчаниками), которые, в свою очередь, включают в себе тело жильной формы, сложенное интенсивно катаклазированными фенитизированными породами бежевого, бежево-красного цвета — калишпатизированными и ожелезненными кварцитопесчаниками, а также обломками собственно калиевого полевого шпата (рис. 2, а—с). И обломки, и межкатаклазовое пространство насыщены рудными минералами, что указывает на неоднократность проявления процессов рудообразования, а также газонасыщенность, т. е. гетерогенность рудного флюида-раствора. Калиевый полевой шпат, наблюдающийся в обломках, слагающих жилу, по рентгеноструктурным данным является промежуточным микроклинном с рассчитанной температурой кристаллизации 450–510 °С (Куликова и др., 2022).

Рудные минералы представлены монацитом, колумбитом. Порода сложена кварц-полевошпато-слюдистой (присутствует мусковит, флогопит, янжунингит) матрицей, в которой рассеяны многочисленные оксиды/гидроксиды железа, апатит и многочисленные фосфаты, окончательная диагностика которых не закончена, а также рудные минералы (монацит и колумбит). Содержание породообразующих редких, рассеянных и редкоземельных элементов в обпробованных породах приведено в табл. 2.

Следует отметить, что в породе наблюдается очень большое количество различных фосфатов и гидрофосфатов: от Sr-фторapatита и монацита до серий гидрофосфатов железа (иногда в смеси с Al, Sr), а также смешанных Fe-Th- и Th-Ca-гидрофосфатов переменного состава. Отмечается сульфатная минерализация — ярозит, а также комплексные Fe-A-сульфофосфаты, зачастую также с торием. Встречены фазы Nb-Th-состава, мелкий циркон (детритовый). Наблюдается калиевая безалюминиевая и безводная высокофтористая

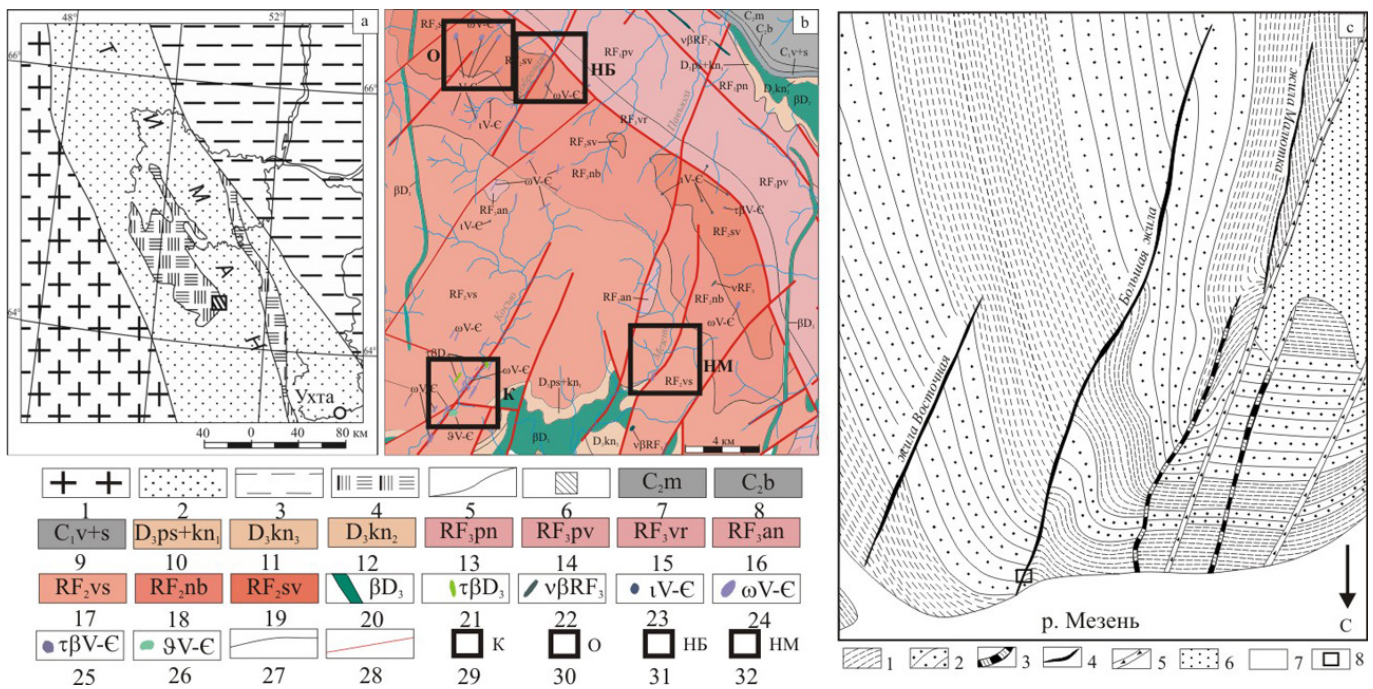


Рис. 1. Геологическая позиция района исследований на Среднем Тимане: **а** — схема тектонического строения Среднего Тимана: 1 — Восточно-Европейский кратон; 2 — Тиман; 3 — Ижемская зона; 4 — выходы на поверхность комплексов фундамента; 5 — границы зон; 6 — район развития опробованных пород визингской и светлинской свит; **б** — фрагмент геологической карты (м-б 1 : 200 000, Государственная..., 1993): 7, 8 — известняки; 9 — аргиллиты, глины, алевролиты, известняки, доломиты; 10 — песчаники, алевролиты, аргиллиты; 11 — песчаники, алевролиты, аргиллиты, глины; 12 — туфы, туффиты; 13 — *паунская свита*, сланцы, алевролиты, известняки, доломиты; 14 — *павьюгская свита*, доломиты, известняки, часто со строматолитами; 15 — *ворыквинская свита*, доломиты, известняки, сланцы, мергели, редко алевролиты и кварцитопесчаники; 16 — *анъюгская свита*, гравелиты, кварцитопесчаники, сланцы; 17 — *визингская свита*, кварцитопесчаники, сланцы, алевролиты, редко туффиты; 18 — *новобобровская свита*, сланцы, алевролиты; 19 — *светлинская свита*, кварцитопесчаники, алевролиты, сланцы, редко гравелиты. Комплексы: 20 — среднетиманский метадолеритовый, метадолериты, дайки; 21–24 — четлаский кимберлит-пикритовый: 21 — кимберлиты, кимберлитоподобные породы, трубки, дайки; 22 — пикриты, дайки; 23 — щелочные базальтоиды, дайки; 24 — карбонатиты, шток; 25, 26 — канино-тиманский долеритовый: 25 — базальты, долериты, покровы, силлы; 26 — трахибазальты, дайки, силлы; 27 — границы между разновозрастными образованиями; 28 — тектонические контакты. Рудные поля (29–32): 29 — Косьюское, 30 — Октябрьское, 31 — Новобобровское, 32 — Нижнемеженское; **с** — фрагмент схематической карты участка (Ивенсен, 1964): 1 — сланцы, 2 — кварциты, 3 — дайки лампрофиров, 4 — кварц-полевошпат-эгириновые жилы, 5 — зона брекчий, 6 — девонские отложения, 7 — аллювий, 8 — зачистка

Fig. 1. Geological position of the study area on the Middle Timan: **a** — scheme of the tectonic structure of the Middle Timan: 1 — East European craton; 2 — Timan; 3 — Izhma zone; 4 — exits to the surface of the basement complexes; 5 — boundaries of zones; 6 — the area of development of the tested rocks of the Vizings and Svetlinskaya suites. **b** — fragment of the geological map of the sampling area (scale 1 : 200 000, Gosudarstvennaya ..., 1993): 7, 8 — limestones; 9 — mudstones, clays, siltstones, limestones, dolomites; 10 — sandstones, siltstones, mudstones; 11 — sandstones, siltstones, mudstones, clays; 12 — tuffs, tuffites; 13 — *Paun Formation*, shales, siltstones, limestones, dolomites; 14 — *Pavyug Formation*, dolomites, limestones, often with stromatolites; 15 — *Vorykva Formation*, dolomites, limestones, shales, marls, rarely siltstones and quartzite sandstones; 16 — *Anyug Formation*, gravelstones, quartzite sandstones, shales; 17 — *Vizingskaya Formation*, quartzite sandstones, shales, siltstones, rarely tuffites; 18 — *Novobobrovskaya Formation*, shales, siltstones; 19 — *Svetlinskaya Formation*, quartzite sandstones, siltstones, shales, rarely gravelstones. Complex: 20 — Middle Timan metadolerite, metadolerites, dikes; 21–24, Chetlas kimberlite-picrite: 21 — kimberlites, kimberlite-like rocks, pipes, dikes; 22 — picrites, dikes; 23 — alkaline basaltoids, dikes; 24 — carbonatites, stock; 25, 26 — Kanino-Timansky dolerite: 25 — basalts, dolerites, covers, forces; 26 — trachybasalts, dikes, sills; 27 — boundaries between formations of different ages; 28 — tectonic contacts. Ore fields (29–32): 29 — Kosyu, 30 — Oktyabrskoye, 31 — Novobobrovskoye, 32 — Lower Mezen; **c** — fragment of a schematic map of the site (Ivensen, 1964): 1 — shales, 2 — quartzites, 3 — lamprophyre dikes, 4 — quartz-feldspar-egirine veins, 5 — breccia zone, 6 — Devonian deposits, 7 — alluvium, 8 — clearing

Таблица 1. Результаты ЭЗРСА монацитов (обр. MZ1-1, KM4) в мас. % для каждого элемента
Table 1. ESARS results for monazites (sample MZ1-1, KM4) in wt. % for each element

№	ЭДС / EDS										ВДС / WDS					Расчет / Estimate	
	Si	P	Ca	Fe	Sr	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Pb	Th	U	O	Сумма / Sum
MZ1-1																	
1	0.7 ± 0.2	12.3 ± 0.3	0.3 ± 0.1	—	1.9 ± 0.6	13.6 ± 0.7	22.0 ± 0.9	1.4 ± 0.8	6.9 ± 0.8	2.3 ± 0.8	—	1.6 ± 0.7	0.25 ± 0.03	8.85 ± 0.16	0.04 ± 0.02	26.8 ± 1.0	99.20
2	0.7 ± 0.2	12.4 ± 0.3	0.3 ± 0.1	1.6 ± 0.3	2.2 ± 0.6	13.7 ± 0.7	20.8 ± 0.9	0.5 ± 0.7	6.2 ± 0.8	1.3 ± 0.8	—	1.0 ± 0.7	0.32 ± 0.03	11.31 ± 0.17	0.09 ± 0.02	26.9 ± 1.0	99.40
3	0.7 ± 0.2	12.3 ± 0.3	0.2 ± 0.1	—	1.9 ± 0.6	12.6 ± 0.7	21.6 ± 0.9	1.9 ± 0.8	7.1 ± 0.8	1.2 ± 0.8	—	0.9 ± 0.7	0.33 ± 0.03	11.65 ± 0.18	0.08 ± 0.02	26.6 ± 1.0	99.40
4	0.6 ± 0.2	12.5 ± 0.3	0.3 ± 0.1	0.7 ± 0.3	1.9 ± 0.6	13.3 ± 0.7	21.8 ± 0.9	1.7 ± 0.8	6.8 ± 0.8	1.2 ± 0.8	—	1.1 ± 0.7	0.29 ± 0.03	10.77 ± 0.17	0.07 ± 0.02	26.9 ± 1.0	99.50
5	0.6 ± 0.2	12.3 ± 0.3	0.3 ± 0.1	1.2 ± 0.3	2.4 ± 0.6	12.8 ± 0.7	21.5 ± 0.9	1.5 ± 0.8	6.4 ± 0.8	1.4 ± 0.8	—	0.9 ± 0.7	0.30 ± 0.03	11.29 ± 0.18	0.08 ± 0.02	26.7 ± 1.0	99.90
6	0.7 ± 0.2	12.3 ± 0.3	0.3 ± 0.1	0.5 ± 0.3	2.2 ± 0.6	12.6 ± 0.7	21.1 ± 0.9	1.1 ± 0.8	5.8 ± 0.8	1.6 ± 0.8	—	1.7 ± 0.7	0.32 ± 0.03	12.30 ± 0.19	0.09 ± 0.02	26.6 ± 1.0	99.30
7	0.3 ± 0.2	12.3 ± 0.3	0.3 ± 0.1	1.1 ± 0.3	1.8 ± 0.6	13.6 ± 0.7	21.6 ± 0.9	2.0 ± 0.8	7.0 ± 0.8	2.0 ± 0.8	—	1.4 ± 0.7	0.23 ± 0.03	9.17 ± 0.16	0.08 ± 0.02	26.6 ± 1.0	99.70
8	0.5 ± 0.2	12.7 ± 0.3	0.2 ± 0.1	—	1.0 ± 0.6	14.7 ± 0.8	23.3 ± 0.9	1.6 ± 0.8	7.3 ± 0.8	1.8 ± 0.8	1.1 ± 0.7	1.1 ± 0.7	0.17 ± 0.03	7.00 ± 0.14	0.03 ± 0.02	27.1 ± 1.0	100.00
9	0.5 ± 0.2	12.6 ± 0.3	0.2 ± 0.1	—	1.2 ± 0.6	14.2 ± 0.8	23.1 ± 0.9	2.3 ± 0.8	7.8 ± 0.8	1.4 ± 0.8	—	0.9 ± 0.7	0.20 ± 0.03	7.91 ± 0.15	0.05 ± 0.02	26.9 ± 1.0	99.90
10	0.5 ± 0.2	12.6 ± 0.3	0.2 ± 0.1	0.4 ± 0.3	1.5 ± 0.6	13.9 ± 0.7	22.0 ± 0.9	1.6 ± 0.8	7.1 ± 0.8	2.4 ± 0.8	1.3 ± 0.7	1.4 ± 0.7	0.21 ± 0.03	7.68 ± 0.14	0.04 ± 0.02	26.9 ± 1.0	100.00
11	0.7 ± 0.2	12.5 ± 0.3	0.2 ± 0.1	0.7 ± 0.3	2.0 ± 0.6	13.3 ± 0.7	21.7 ± 0.9	1.8 ± 0.8	7.0 ± 0.8	1.6 ± 0.8	—	1.1 ± 0.7	0.24 ± 0.03	9.24 ± 0.16	0.05 ± 0.02	27.2 ± 1.0	99.60
12	0.5 ± 0.2	12.8 ± 0.3	0.2 ± 0.1	—	2.0 ± 0.6	13.8 ± 0.7	22.1 ± 0.9	1.6 ± 0.8	7.5 ± 0.8	1.4 ± 0.8	—	1.4 ± 0.7	0.27 ± 0.03	8.41 ± 0.15	0.05 ± 0.02	27.1 ± 1.0	99.90
13	0.5 ± 0.2	12.5 ± 0.3	0.2 ± 0.1	0.5 ± 0.3	1.9 ± 0.6	13.4 ± 0.7	21.5 ± 0.9	1.5 ± 0.8	6.8 ± 0.8	2.0 ± 0.8	—	0.9 ± 0.7	0.28 ± 0.03	10.38 ± 0.17	0.09 ± 0.02	26.8 ± 1.0	99.50
14	0.5 ± 0.2	12.5 ± 0.3	0.2 ± 0.1	0.4 ± 0.3	2.0 ± 0.6	13.4 ± 0.7	21.8 ± 0.9	2.0 ± 0.8	6.7 ± 0.8	2.1 ± 0.8	—	1.1 ± 0.7	0.26 ± 0.03	9.72 ± 0.16	0.08 ± 0.02	26.8 ± 1.0	99.70
15	0.5 ± 0.2	12.7 ± 0.3	0.1 ± 0.1	0.8 ± 0.3	1.3 ± 0.6	14.9 ± 0.7	23.9 ± 0.9	1.4 ± 0.8	7.5 ± 0.8	1.2 ± 0.8	—	1.2 ± 0.7	0.17 ± 0.03	6.71 ± 0.13	0.05 ± 0.02	27.0 ± 1.0	99.60
KM4-2																	
1	0.2 ± 0.2	12.9 ± 0.3	0.3 ± 0.1	0.5 ± 0.3	0.7 ± 0.6	12.3 ± 0.7	22.6 ± 0.9	2.5 ± 0.8	10.7 ± 0.8	3.3 ± 0.9	—	1.6 ± 0.8	0.09 ± 0.03	4.84 ± 0.11	0.03 ± 0.02	27.0 ± 1.0	99.60
2	0.2 ± 0.2	13.0 ± 0.3	0.3 ± 0.1	0.8 ± 0.3	0.7 ± 0.6	12.6 ± 0.7	23.6 ± 0.9	1.8 ± 0.8	9.8 ± 0.8	2.4 ± 0.9	1.0 ± 0.7	1.6 ± 0.8	0.11 ± 0.03	4.66 ± 0.11	0.03 ± 0.02	27.2 ± 1.0	100.00
3	0.2 ± 0.2	12.7 ± 0.3	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.3	0.9 ± 0.6	12.1 ± 0.7	22.6 ± 0.9	1.8 ± 0.8	9.8 ± 0.8	2.9 ± 0.9	1.0 ± 0.7	2.0 ± 0.8	0.14 ± 0.03	6.20 ± 0.13	0.04 ± 0.02	26.8 ± 1.0	99.90
4	0.2 ± 0.2	13.0 ± 0.3	0.2 ± 0.1	0.4 ± 0.3	0.7 ± 0.6	12.5 ± 0.7	22.9 ± 0.9	1.7 ± 0.8	11.1 ± 0.9	2.6 ± 0.9	—	1.7 ± 0.8	0.11 ± 0.03	5.33 ± 0.11	0.03 ± 0.02	27.1 ± 1.0	99.60
5	0.3 ± 0.2	12.8 ± 0.3	0.4 ± 0.1	0.7 ± 0.3	0.8 ± 0.6	11.8 ± 0.7	22.1 ± 0.9	1.5 ± 0.8	9.1 ± 0.8	3.7 ± 0.9	0.9 ± 0.7	2.5 ± 0.8	0.13 ± 0.03	6.01 ± 0.12	0.03 ± 0.02	27.0 ± 1.0	99.70
6	0.4 ± 0.2	12.9 ± 0.3	0.2 ± 0.1	—	1.2 ± 0.6	11.8 ± 0.7	22.4 ± 0.9	2.1 ± 0.8	10.5 ± 0.8	3.4 ± 0.9	0.8 ± 0.7	2.1 ± 0.8	0.12 ± 0.03	4.53 ± 0.11	0.03 ± 0.02	27.1 ± 1.0	99.70
7	0.2 ± 0.2	12.7 ± 0.3	1.0 ± 0.1	1.6 ± 0.3	—	11.3 ± 0.7	21.0 ± 0.9	2.1 ± 0.8	8.4 ± 0.8	2.0 ± 0.9	0.9 ± 0.7	1.5 ± 0.8	0.06 ± 0.03	9.63 ± 0.17	0.10 ± 0.02	26.9 ± 1.0	99.90
8	0.4 ± 0.2	11.6 ± 0.3	0.8 ± 0.1	2.7 ± 0.3	1.4 ± 0.6	10.1 ± 0.7	20.1 ± 0.9	1.7 ± 0.7	7.8 ± 0.8	2.6 ± 0.8	0.9 ± 0.7	1.9 ± 0.8	0.25 ± 0.03	10.45 ± 0.16	0.07 ± 0.02	26.2 ± 1.0	99.00
9	0.4 ± 0.2	12.6 ± 0.3	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.3	1.6 ± 0.6	8.2 ± 0.7	17.8 ± 0.9	2.4 ± 0.7	10.8 ± 0.8	3.8 ± 0.9	0.8 ± 0.7	2.8 ± 0.8	0.19 ± 0.03	9.91 ± 0.17	0.09 ± 0.02	26.8 ± 1.0	99.80
10	0.4 ± 0.2	12.3 ± 0.3	1.6 ± 0.1	1.8 ± 0.3	1.4 ± 0.6	6.6 ± 0.7	15.1 ± 0.9	1.9 ± 0.7	8.6 ± 0.8	3.7 ± 0.8	1.4 ± 0.7	2.7 ± 0.8	0.24 ± 0.03	14.87 ± 0.22	0.13 ± 0.02	26.8 ± 1.0	99.70
Эталоны / Standards																	
	SiO ₂	CePO ₄	CaSiO ₄	Fe	SrF ₂	LaPO ₄	CePO ₄	PrPO ₄	NdPO ₄	SmPO ₄	EuPO ₄	GdPO ₄	PbTe	ThO ₂	UO ₂		

Примечание: Доверительный интервал рассчитан по 2σ-критерию. Кислород рассчитан по стехиометрии. «→» — ниже предела обнаружения.
Note: The confidence interval was calculated using the 2σ-criterion. Oxygen is calculated by stoichiometry. "—" — below the detection limit.

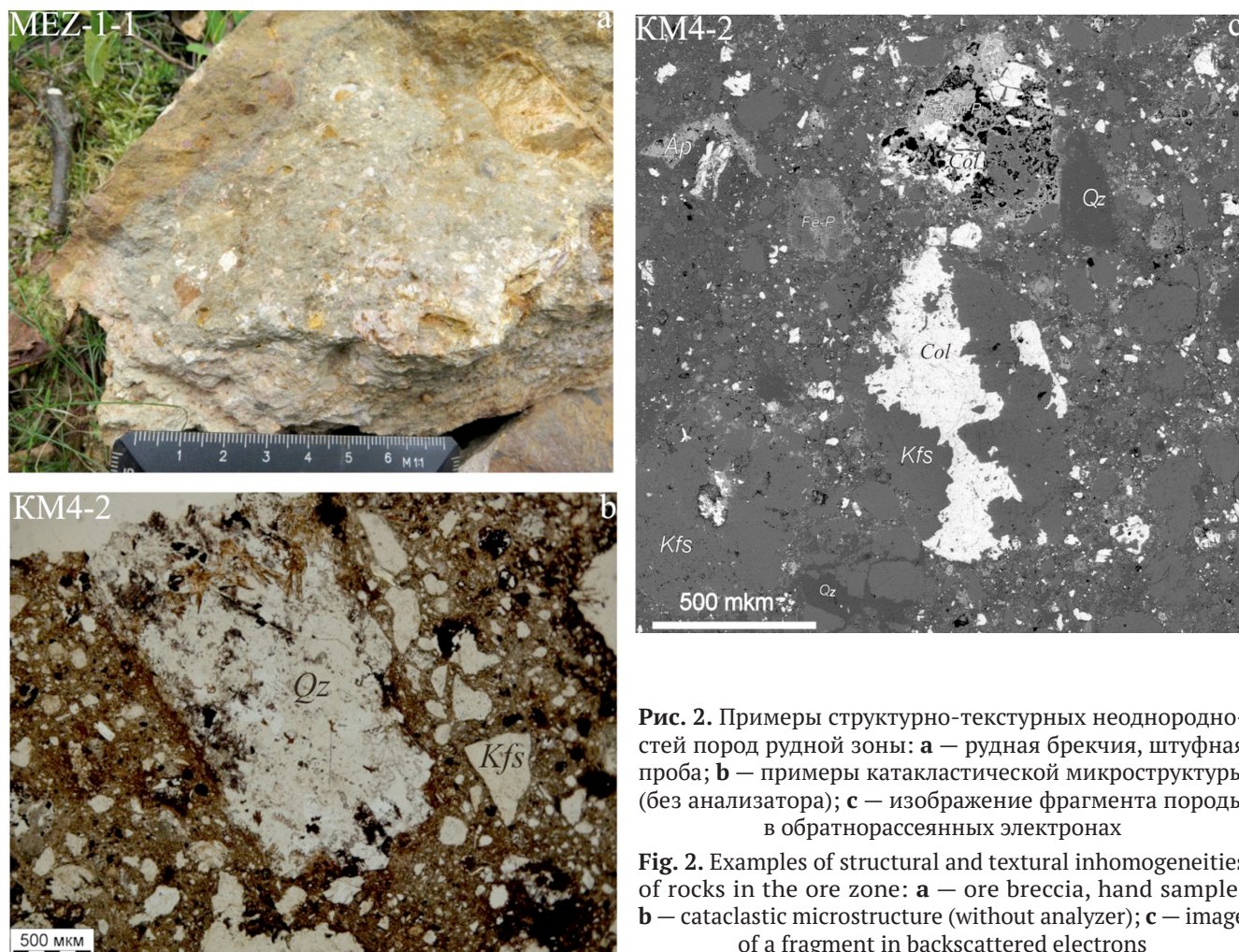


Рис. 2. Примеры структурно-текстурных неоднородностей пород рудной зоны: **а** — рудная брекчия, штучная проба; **б** — примеры катакlastической микроструктуры (без анализатора); **с** — изображение фрагмента породы в обратнорассеянных электронах

Fig. 2. Examples of structural and textural inhomogeneities of rocks in the ore zone: **a** — ore breccia, hand sample; **b** — cataclastic microstructure (without analyzer); **c** — image of a fragment in backscattered electrons

Таблица 2. Химический (мас. %) состав и содержание (г/т) редких, рассеянных и редкоземельных элементов в породах

Table 2. Chemical (wt. %) composition and content (g/t) of rare, trace and rare earth elements in rocks

Компоненты Components	SiO ₂	TiO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП	H ₂ O	CO ₂
MEZ1-1	63.88	0.28	12.25	3.64	1.81	0.05	0.51	0.20	0.63	11.20	0.61	3.59	0.74	< 0.1
KM4-2	66.68	1.23	9.37	4.26	1.66	0.36	0.96	0.58	0.43	7.26	0.84	2.26	0.60	< 0.1
Элементы Elements	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Rb	Sr	Y
MEZ1-1	140	3.1	5.8	2.8	26	1.5	7.3	7.0	27	11	5.1	160	210	27
KM4-2	340	8.4	16	93	88	6.0	14	15	140	9.0	6.5	130	960	340
Элементы Elements	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
MEZ1-1	440	5300	0.36	2.5	9.3	0.67	820	54	90	9.8	38	18	8.4	24
KM4-2	720	19000	1.6	3.4	23	1.6	900	110	250	35	170	110	58	200
Элементы Elemens	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Pb	Bi	Th	U
MEZ1-1	3.5	13	1.6	3.7	0.49	3.5	0.58	10	0.56	17	63	0.55	2100	1.6
KM4-2	36	140	17	30	3.4	20	2.8	14	1.4	47	100	2.9	3300	13

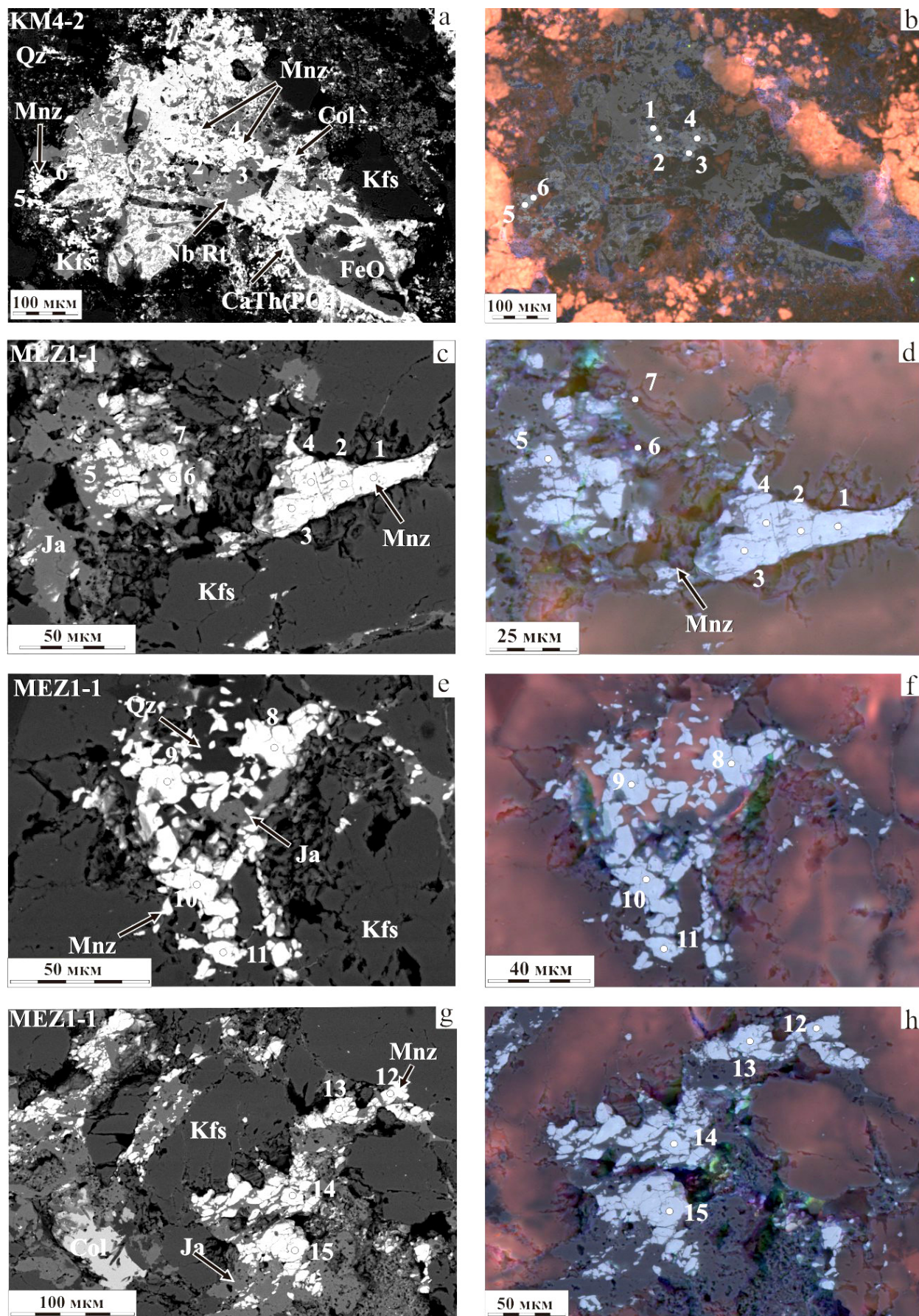


Рис. 3. Монацит рудных брекчий «Большая жила», аншлифы. Номера точек соответствуют номерам в табл. 1.

a, c, e, g — изображения в обратнорассеянных электронах; b, d, f, h — катодолуминесцентные изображения

Fig. 3. Monazite of ore breccias Bolshaya zhila, polished sections. The point numbers correspond to the numbers in Table 1.

a, c, e, g — backscattered electron images; b, d, f, h — cathodoluminescent images

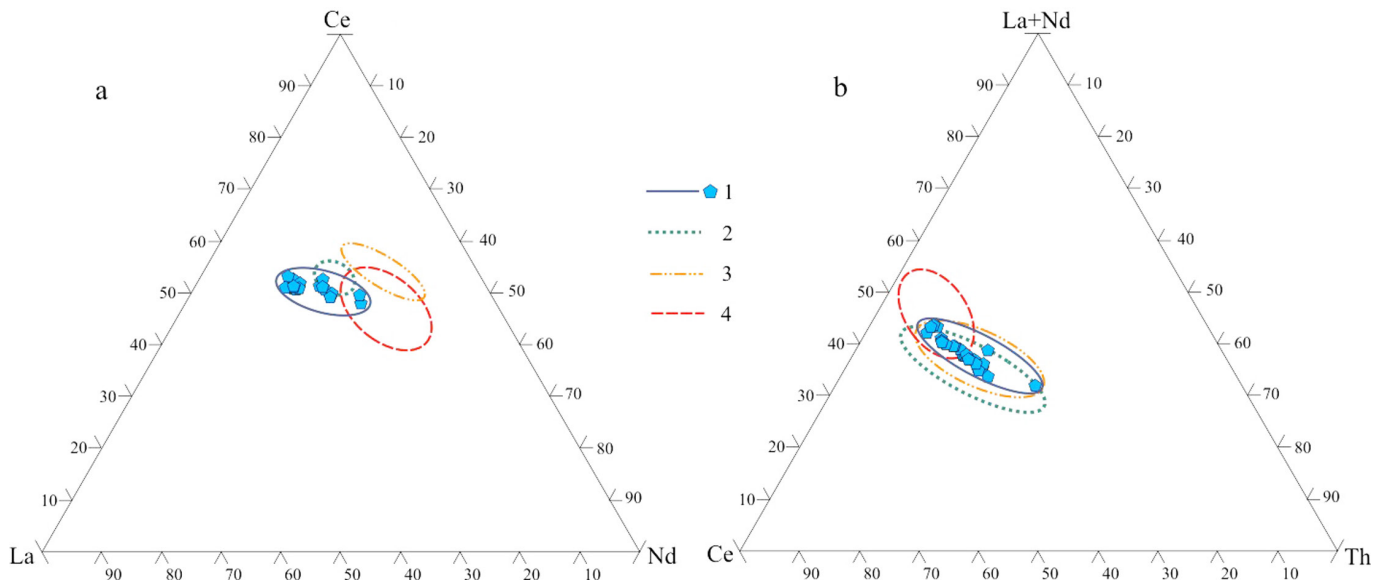


Рис. 4. Состав монацитов на диаграммах La-Ce-Nd (а) и Ce-(La+Nd)-Th (б). Для сопоставления химических составов монацитов показаны контуры составов монацитов из щелочных метасоматитов рудных полей Косьюского рудного узла. Условные обозначения, рудные поля: 1 — Нижнемезенское, 2 — Октябрьское, 3 — Новобобровское, 4 — Верхнешугорское

Fig. 4. The composition of monazites on the La-Ce-Nd (a) and Ce-(La+Nd)-Th (b) diagrams. Symbols, ore fields: 1 — Lower Mezen, 2 — Oktyabrskoe, 3 — Novobobrovskoe, 4 — Verkhne-Shchugorskoe

слюда янжумингит $\text{KMg}_{2.5}(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{F}_2$, формирующая лейсты до 50 мкм (Удоратина и др., 2018). Поскольку подобная слюда была встречена ранее на Новобобровском проявлении, возможно, именно она является типоморфным минералом рудных щелочных метасоматитов.

Редкометалльные минералы представлены зональным колумбитом (Fe-колумбитом и Mn-колумбитом) 1 мкм ÷ 1 мм и высокониобиевым рутилом, вплоть до ильменорутила (до 17 мас. % Nb_2O_5) размером от микронных выделений до 50–60 мкм.

Редкоземельные минералы представлены монацитом. Монацит (рис. 3) образует мелкие (размером первые десятки мкм) агрегаты различной формы, удлиненные (изометричные на срезе) кристаллы, ассоциирующие с Fe-колумбитом, Nb-рутилом, F-апатитом, гидрофосфатами Fe, Al, Sr, Th, Ca. Как видно на снимках (рис. 3), все измеренные монациты развиваются в межкатаклазовом пространстве между обломками калиевого полевого шпата (микроклина) и являются наиболее поздними по формированию относительно, например, колумбита. В целом мы считаем, что процессы крайне близки во времени и вряд ли будут отличаться в рамках погрешности.

По своему химическому составу монацит цериевый ($\text{Ce}_2\text{O}_3 > \text{La}_2\text{O}_3$) содержит (мас. %): La_2O_3 — 7.6–17.4, Ce_2O_3 — 17.3–28, Nd_2O_3 — 7.5–12.5, ThO_2 — 5–14 (табл. 1, рис. 4). Неоднородность наблюдаемого химического состава монацитов в колебаниях содержаний La, Ce, Nd, Th никак не проявлена на снимках в обратноотраженных электронах и на катодолюминесцентных изображениях (рис. 3).

Наблюдаемые минералогические особенности отражены в химическом и геохимическом составе пород, фрагменты которых отобраны для Th-U-Pb датирования (табл. 2). Согласно этим данным, химический состав породы близок к составу калиевого по-

левого шпата, так как в основном сложен им, и в этих породах содержания рудных элементов ΣREE и Nb достигают высоких значений: тысячи (268.6–1182.2), десятков тысяч (5300–19000) г/т.

Значения измеренных точечных Th-U-Pb-возрастов монацитов лежат в интервале 697–406 млн лет, погрешность определения (2σ) порядка ± 100 млн лет (табл. 3, рис. 5). Средневзвешенная величина точечного Th-U-Pb-возраста монацитов составила (564 ± 27) млн лет. Возраст монацитов, полученный по изохроне $\text{ThO}_2^* - \text{PbO}$, равен (566 ± 127) млн лет.

Выводы

Исследуемые монациты по своему составу отличаются от монацитов других рудных полей Октябрьского, Новобобровского, Верхнешугорского. Относительно других в монацитах Нижнемезенского проявления более лантановый и менее ториевый состав. Полученные в результате электронно-зондового рентгеноспектрального Th-U-Pb-датирования данные имеют большую погрешность, чем при датировании обычными геохронологическими методами. Это связано с достаточно высокими ошибками определения низких содержаний урана и свинца в монацитах. Как видно из табл. 3, содержания урана близки к пределам обнаружения, соответственно, относительная ошибка определения урана составляла в среднем 20 %. Относительные ошибки определения свинца — 10 %, тория — 1.8 %. В совокупности все эти погрешности повлияли на ошибку определения возраста, которая составила 22 % относительных. Изохронный возраст монацита (566 ± 127) млн лет, установленный при Th-U-Pb-датировании, близок ко времени формирования четласского комплекса щелочных пикритов и карбонатитов (это уровень ~600 млн лет), с которыми, как предполагают исследователи, связан генетически

Таблица 3. Рассчитанный возраст и формулы монацитов (обр. MZ1-1, KM4)
Table 3. Calculated age and formulas of monazites (sample MZ1-1, KM4)

№ т.н.	ThO ₂ *	PbO	Возраст, млн лет Age, Ma	Формулы монацитов / Formulas of monazites
MZ1-1				
1	10.03	0.26	608.4±113	(Ce _{0,35} La _{0,22} Nd _{0,11} Th _{0,09} Sr _{0,05} Sm _{0,04} Pr _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Fe _{0,01} Eu _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,0004}) _{0,93} (P _{1,00} Si _{0,06} Al _{0,01}) _{1,07} O ₄
2	12.02	0.31	605.2±93	(Ce _{0,33} La _{0,22} Th _{0,11} Nd _{0,10} Fe _{0,07} Sr _{0,06} Sm _{0,02} Ca _{0,01} Pr _{0,01} Eu _{0,01} Gd _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,94} (P _{1,00} Si _{0,06}) _{1,06} O ₄
3	12.88	0.33	601.6±86	(Ce _{0,35} La _{0,21} Nd _{0,11} Th _{0,11} Sr _{0,05} Pr _{0,03} Sm _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Gd _{0,01} Pb _{0,004} U _{0,001}) _{0,94} (P _{1,00} Si _{0,06}) _{1,06} O ₄
4	11.81	0.30	596.4±95	(Ce _{0,35} La _{0,21} Nd _{0,11} Th _{0,10} Sr _{0,05} Fe _{0,03} Pr _{0,03} Sm _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,95} (P _{1,00} Si _{0,05} Al _{0,01}) _{1,05} O ₄
5	12.60	0.31	578±89	(Ce _{0,34} La _{0,21} Th _{0,11} Nd _{0,10} Sr _{0,06} Fe _{0,05} Pr _{0,02} Sm _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Gd _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,95} (P _{1,00} Si _{0,05}) _{1,05} O ₄
6	13.72	0.34	582±81	(Ce _{0,34} La _{0,21} Th _{0,12} Nd _{0,09} Sr _{0,06} Fe _{0,02} Pr _{0,02} Sm _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Pb _{0,004} U _{0,001}) _{0,94} (P _{1,00} Si _{0,06}) _{1,06} O ₄
7	10.60	0.25	554.4±109	(Ce _{0,35} La _{0,22} Nd _{0,11} Th _{0,09} Sr _{0,03} Fe _{0,04} Pr _{0,03} Sm _{0,03} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Mn _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,96} (P _{1,00} Al _{0,01} Si _{0,03}) _{1,04} O ₄
8	7.95	0.19	561.2±137	(Ce _{0,37} La _{0,24} Nd _{0,11} Th _{0,07} Sr _{0,03} Pr _{0,03} Sm _{0,03} Eu _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Fe _{0,01} Pb _{0,002} U _{0,0003}) _{0,95} (P _{1,00} Al _{0,01} Si _{0,04}) _{1,05} O ₄
9	9.18	0.21	538±129	(Ce _{0,37} La _{0,30} Nd _{0,12} Th _{0,08} Pr _{0,04} Sr _{0,03} Sm _{0,02} Ca _{0,01} Fe _{0,01} Eu _{0,01} Gd _{0,01} Pb _{0,002} U _{0,001}) _{0,95} (P _{1,00} Al _{0,01} Si _{0,04}) _{1,05} O ₄
10	8.61	0.22	600±124	(Ce _{0,35} La _{0,22} Nd _{0,11} Th _{0,07} Sr _{0,04} Sm _{0,04} Pr _{0,03} Fe _{0,02} Eu _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Pb _{0,002} U _{0,0004}) _{0,93} (P _{1,00} Al _{0,01} Si _{0,06}) _{1,07} O ₄
11	10.40	0.25	564.8±102	(Ce _{0,34} La _{0,21} Nd _{0,11} Th _{0,09} Sr _{0,05} Fe _{0,03} Pr _{0,03} Sm _{0,03} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,91} (P _{1,00} Al _{0,03} Si _{0,06}) _{1,09} O ₄
12	9.40	0.28	697.21±118	(Ce _{0,35} La _{0,22} Nd _{0,12} Th _{0,08} Sr _{0,03} Pr _{0,03} Sm _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Fe _{0,01} Eu _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,96} (P _{1,00} Si _{0,04}) _{1,04} O ₄
13	11.64	0.29	585.2±97	(Ce _{0,35} La _{0,22} Nd _{0,11} Th _{0,10} Sr _{0,05} Sm _{0,03} Fe _{0,02} Pr _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Gd _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,96} (P _{1,00} Al _{0,003} Si _{0,04}) _{1,043} O ₄
14	10.94	0.27	579.6±96	(Ce _{0,35} La _{0,22} Nd _{0,10} Th _{0,09} Sr _{0,03} Pr _{0,03} Sm _{0,03} Fe _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,94} (P _{1,00} Al _{0,003} Si _{0,04}) _{1,06} O ₄
15	7.41	0.18	570.4±148	(Ce _{0,38} La _{0,24} Nd _{0,12} Th _{0,06} Sr _{0,03} Fe _{0,03} Pr _{0,02} Sm _{0,02} Gd _{0,02} Eu _{0,01} Pb _{0,002} U _{0,001}) _{0,96} (P _{1,00} Si _{0,04}) _{1,04} O ₄
KM4-2				
1	5.57	0.10	423.8±194	(Ce _{0,36} La _{0,20} Nd _{0,17} Sm _{0,05} Th _{0,05} Pr _{0,04} Sr _{0,02} Fe _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Mn _{0,001} Pb _{0,001} U _{0,0003}) _{0,99} (P _{1,00} Si _{0,01}) _{1,01} O ₄
2	5.15	0.12	547.6±201	(Ce _{0,37} La _{0,20} Nd _{0,15} Sm _{0,04} Th _{0,04} Fe _{0,03} Pr _{0,03} Sr _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Eu _{0,01} Pb _{0,001} U _{0,0002}) _{0,98} (P _{1,00} Si _{0,02}) _{1,02} O ₄
3	7.13	0.15	494.8±145	(Ce _{0,36} La _{0,20} Nd _{0,15} Th _{0,06} Sm _{0,04} Pr _{0,03} Gd _{0,03} Ca _{0,02} Sr _{0,02} Fe _{0,02} Eu _{0,01} Pb _{0,002} U _{0,0004}) _{0,98} (P _{1,00} Si _{0,02} Al _{0,004}) _{1,024} O ₄
4	6.00	0.12	470.4±191	(Ce _{0,36} La _{0,20} Nd _{0,17} Th _{0,05} Sm _{0,04} Pr _{0,03} Sr _{0,02} Fe _{0,02} Gd _{0,02} Ca _{0,01} Mn _{0,004} Pb _{0,001} U _{0,0003}) _{0,99} (P _{1,00} Si _{0,01} Al _{0,004}) _{1,01} O ₄
5	6.82	0.14	483.2±152	(Ce _{0,35} La _{0,19} Nd _{0,14} Th _{0,06} Sm _{0,06} Gd _{0,04} Fe _{0,03} Pr _{0,03} Ca _{0,02} Sr _{0,02} Eu _{0,01} Mn _{0,006} Pb _{0,001} U _{0,0003}) _{0,97} (P _{1,00} Si _{0,02} Al _{0,0,0,01}) _{1,03} O ₄
6	5.25	0.13	581.2±212	(Ce _{0,36} La _{0,19} Nd _{0,16} Sm _{0,05} Th _{0,04} Sr _{0,03} Pr _{0,03} Gd _{0,03} Ca _{0,01} Fe _{0,01} Eu _{0,01} U _{0,002}) _{0,97} (P _{1,00} Si _{0,03}) _{1,03} O ₄
7	10.27	0.22	504.0±111	(Ce _{0,33} La _{0,18} Nd _{0,13} Th _{0,09} Fe _{0,06} Ca _{0,04} Pr _{0,03} Sm _{0,03} Sr _{0,02} Gd _{0,02} Eu _{0,01} Pb _{0,001} U _{0,001}) _{0,96} (P _{1,00} Si _{0,03} Al _{0,01}) _{1,04} O ₄
8	11.62	0.20	406.0±97	(Ce _{0,32} La _{0,16} Nd _{0,12} Fe _{0,11} Th _{0,10} Mn _{0,04} Sm _{0,04} Ca _{0,03} Sr _{0,03} Pr _{0,03} Gd _{0,03} Eu _{0,01} Pb _{0,003} U _{0,001}) _{0,98} (P _{1,00} Al _{0,01} Si _{0,01}) _{1,02} O ₄
556±127 млн лет (Ma)				

Примечание. ThO₂* — пересчитанный ThO₂ с учетом содержания урана.

Note. ThO₂* — ThO₂ recalculated taking into account the content of uranium.

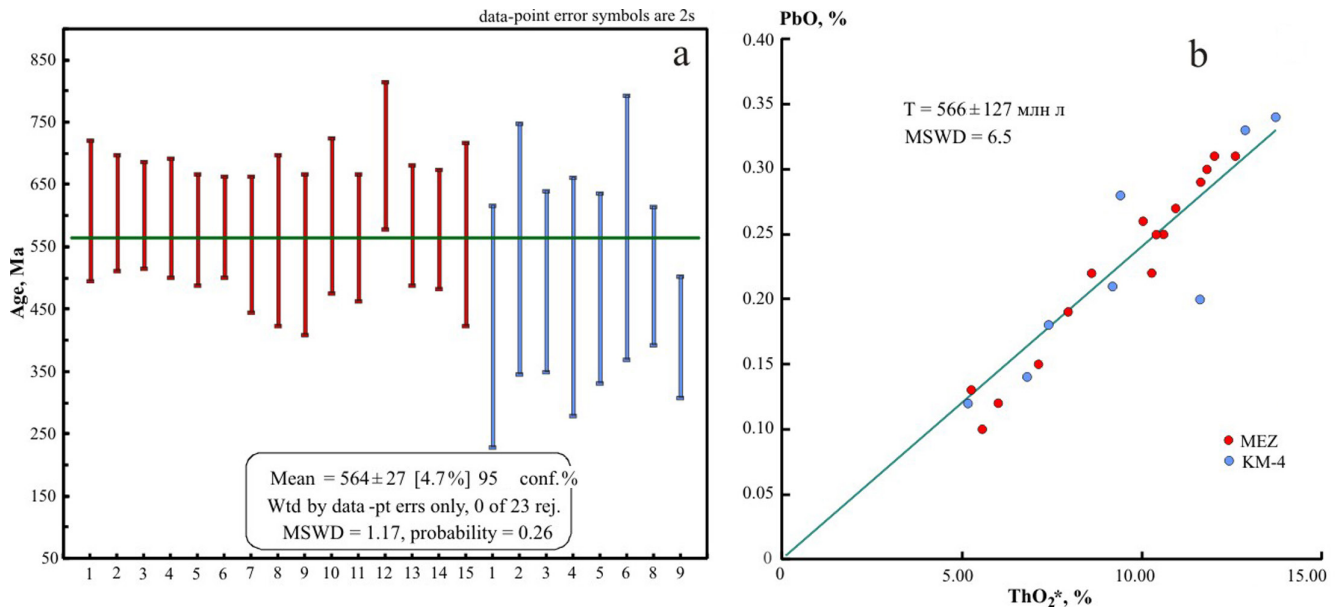


Рис. 5. Геохронологические данные по монацитам. Разброс значений точечных Th-U-Pb-возрастов и их средневзвешенная величина (a); ThO₂* — PbO изохронна (b)

Fig. 5. Geochronological data on monazites. Scatter of point Th-U-Pb-ages and their weighted average (a); ThO₂* — PbO isochronous (b)

(в рудных полях отсутствуют иные магматические тела). Формирование пород четласского магматического комплекса рассматривается как результат проявления плюмового импульса в позднем протерозое — раннем кембрии на окраине Восточно-Европейской платформы (Степаненко, 2022).

Литература / References

- Андреичев В. Л., Степаненко В. И. Возраст карбонатитового комплекса Среднего Тимана // Рудообразование и магматизм севера Урала и Тимана. Сыктывкар, 1983. С. 83—87. (Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР. Вып. 41).
- Andreichev V. L., Stepanenko V. I. *Vozrast karbonatitovogo kompleksa Srednego Timana* (Age of the carbonatite complex of the Middle Timan). Mineralization and magmatism of the North of the Urals and Timan. Syktyvkar, 1983, pp. 83—87. (Proc. Inst Geology, Komi Branch, USSR Academy of Sciences. Vol. 41).
- Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1 : 200 000. Лист Q-39-XXXIII—XXXIV (Барак — Бобровая) / В. М. Пачуковский, Х. О. Траат, Р. Я. Мищенко, Н. А. Довжиков. Л.: ВСЕГЕИ, 1993.
- State geological map of the Russian Federation scale 1 : 200 000. Sheet Q-39-XXXIII—XXXIV (Barracks — Bobrovaya). V. M. Pachukovsky, H. O. Traat, R. Ya. Mishchenko, N. A. Dovzhikov. Leningrad: VSEGEI, 1993.
- Ивсен Ю. П. Магматизм Тимана и полуострова Канин. М.-Л.: Наука, 1964. 126 с.
- Iverson Y. P. *Magmatizm Timana i poluostrova Kanin* (Magmatism of Timan and the Kanin Peninsula). Moscow-Leningrad: Science, 1964, 126 p.
- Ковальчук Н. С., Шумилова Т. Г., Степаненко В. И. Редкоземельная минерализация в карбонатитах Косьюского массива (Средний Тиман) // ЗРМО. №. 3. 2013. С. 109—132.
- Kovalchuk N. S., Shumilova T. G., Stepanenko V. I. *Redkozemelnaya mineralizatsiya v karbonatitakh Kos'yского massiva (Sredniy Timan)* (Rare earth mineralization in carbonatites of the Kosyu massif (Middle Timan)). ZRMO, No. 3, 2013, pp. 109—132.
- Куликова К. В., Удоратина О. В., Макеев Б. А., Шуйский А. С. Калиевый полевой шпат рудных щелочных метасоматитов (Средний Тиман) // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2022. № 2 (54). С. 41—46 (Науки о Земле). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-41-46
- Kulikova K. V., Udoratina O. V., Makeev B. A., Shuisky A. S. *Kalievyy polevoy shpat rudnykh chelochnykh metasomatitov (Sredniy Timan)* (Potassium feldspar of ore alkaline metasomatites (Middle Timan)). Proceedings of the Komi SC UB RAS. Earth Sciences Series, 2022, No. 2 (54), pp. 41—46. DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-41-46
- Степаненко В. И. Пространственные закономерности позднепротерозойско-кембрийских эндогенных процессов Канино-Тимано-Печорского региона // Вестник геонаук. 2022. № 3. С. 16—24. DOI: 10.19110/geov.2022.3.2
- Stepanenko V. I. *Prostranstvennyye zakonomernosti pozdneproterozoysko-kembriyskikh endogennykh protsessov Kanino-Timano-Pechorskogo regiona* (Spatial patterns of Late Proterozoic-Cambrian endogenous processes in the Kanino-Timan-Pechora region). Vestnik of Geosciences, 2022, No. 3, pp. 16—24. DOI: 10.19110/geov.2022.3.2
- Удоратина О. В., Бурцев И. Н., Никулова Н. Ю., Хубанов В. Б. Возраст метапесчаников верхнедокембрийской четласской серии Среднего Тимана на основании U-Pb датирования детритных цирконов // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2017. Вып. 5. С. 15—32.
- Udoratina O. V., Burtsev I. N., Nikulova N. Yu., Khubanov V. B. *Vozrast metapeschanikov verkhnedokembriyskoy chetlaskoy serii Srednego Timana na osnovanii U-Pb datirovaniya detritnykh tsirkonov* (Age of metasandstones of the Upper Precambrian Chetlas Group of the Middle Timan based on U-Pb-dating of detrital zircons). Bul. MOIP, Dep. Geol, 2017, Issue 5, pp. 15—32.
- Удоратина О. В., Варламов Д. А., Куликова К. В., Бурцев И. Н., Макеев Б. А. Рудные минералы Мезенского место-

- рождения (Средний Тиман): новые данные // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2018): Материалы минер. семинара с межд. участием. Сыктывкар, 2018. С. 213—214.
- Udoratina O. V., Varlamov D. A., Kulikova K. V., Burtsev I. N., Makeyev B. A. *Rudnyye mineraly Mezenskoye mestorozhdeniye (Sredniy Timan)* (Ore minerals of Mezen deposit (Middle Timan): new data). Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy (Yushkin readings — 2018). Pro. miner. seminar with int. learn., Syktyvkar, 2018, pp. 213—214.
- Удоратина О. В., Вирюс А. А., Козырева И. В., Швецова И. В., Капитанова В. А. Возраст монацитов жильной серии четласского комплекса (Средний Тиман): Th-U-Pb-данные // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 3. С. 23—29.
- Udoratina O. V., Viryus A. A., Kozyreva I. V., Shvetsova I. V., Kapitanova V. A. *Vozrast monatsitov zhil'noy serii chetlasskogo kompleksa (Sredniy Timan)* (Age of monazites from the vein series of the Chetlas complex (Middle Timan): Th-U-Pb data). Vestnik of the Institute of Geology, Komi SC UB RAS, No. 3, 2015, pp. 23—29.
- Удоратина О. В., Шмакова А. М., Травин А. В., Шуйский А. С. Ультраосновные породы рудных полей Среднего Тимана: петрогеохимические и геохронологические данные // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2023. № 2(60). С. 26—42. (Науки о Земле). <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2023-2-26-42>
- Udoratina O. V., Shmakova A. M., Travin A. V., Shuisky A. S. *Ul'traosnovnyye porody rudnykh poley Srednego Timana: petrogeokhimicheskiye i geokhronologicheskiye dannyye* (Ultramafic rocks of ore fields in the Middle Timan: petrogeochemical and geochronological data). Proceedings of the Komi SC UB RAS, Earth Sciences Series, No. 2(60), 2023, pp. 26—42. <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2023-2-26-42>
- Удоратина О. В., Травин А. В., Бурцев И. Н., Куликова К. В. Новобобровское рудное поле (Четласский Камень, Средний Тиман): Ar-Ar-данные // Геосферные исследования. 2021. № 2. С. 21—28. DOI [10.17223-25421379-19-2](https://doi.org/10.17223-25421379-19-2)
- Udoratina O. V., Travin A. V., Burtsev I. N., Kulikova K. V. *Novobobrovskoye rudnoye pole (Chetlasskiy Kamen', Sredniy Timan): Ar-Ar-dannyye* (Novobobrovskoye ore field (Chetlassky Kamen, Middle Timan)). Geospheric research, 2021, No. 2, pp. 21—28. DOI [10.17223-25421379-19-2](https://doi.org/10.17223-25421379-19-2)
- Удоратина О. В., Травин А. В., Бурцев И. Н., Куликова К. В., Губарев И. А. Октябрьское рудное поле (Средний Тиман): Ar-Ar-данные / Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2020. 17. С. 534—538. DOI [10.31241/FNS.2020.17.103](https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.103)
- Udoratina O. V., Travin A. V., Burtsev I. N., Kulikova K. V., Gubarev I. A. *Oktyabr'skoye rudnoye pole (Sredniy Timan): Ar-Ar-dannyye* (October ore field (Middle Timan): Ar-Ar data). Proceedings of the Fersman scientific session of GI KSC RAS, 2020, 17, pp. 534—538. DOI [10.31241/FNS.2020.17.103](https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.103)
- Ludwig K. R. User's manual for ISOPLOT/EX, version 2. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center: Spec. Publ. No. 1a. 1999. 120 p.
- Nedosekova I., Vladikin N., Udoratina O., Belyatsky B. Ore and geochemical specialization and substance sources of the Ural and Timan carbonatite complexes (Russia): insights from trace element, Rb-Sr and Sm-Ndisotope data // Minerals 2021. 11. 711. P. 1—41. DOI [10.3390/min11070711](https://doi.org/10.3390/min11070711)
- Suzuki K., Adachi M. The chemical Th-U-total Pb isochron ages of zircon and monazite from the gray granite of the Hida Terrane, Japan. // The Journal of Earth and Planetary Sciences. 1991. vol. 38. Nagoya University, P. 11—38.

Поступила в редакцию / Received 07.02.2023



Литолого-генетическая характеристика верхнетриасовых дальнегорских известняков Таухинского террейна (гора Сахарная, Сихотэ-Алинь)

Т. А. Пунина, Е. Н. Малышева

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток
pounta@mail.ru, rumbum@yandex.ru

В данной работе впервые интегрируются фациальные ассоциации верхнетриасовых дальнегорских известняков Таухинского террейна (гора Сахарная, Сихотэ-Алинь). Дано детальное литолого-палеоэкологическое описание органогенной постройки горы Сахарная. Проведено литолого-генетическое изучение известняков, слагающих постройку, выделены литотипы, соответствующие трем генетическим типам: биогенные, биохемотропные и механогенные. Определена последовательность формирования органогенной постройки, состоящая из четырех этапов: банка, биостром, биогеом, риф. Дано подробное описание каждой стадии развития. Представленные результаты имеют большое значение для лучшего понимания развития и распространения карбонатонакопления в океане Панталасса в позднем триасе. Представленные данные могут быть объединены в палеогеографические и геодинамические реконструкции океана Панталасса.

Ключевые слова: литотипы, органогенная постройка, палеосообщества.

Lithological and genetic characteristics of the Upper Triassic Dalnegorsk limestones of the Taukhinsky terrane (Sakharnaya mountain, Sikhote-Alin)

T. A. Punina, E. N. Malysheva

Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok

Facies associations of Upper Triassic Dalnegorsk limestones of the Taukhinsky terrane (Sakharnaya mountain, Sikhote-Alin) are integrated for the first time in this work. A detailed lithological and genetic description of the organogenic construction of the Sakharnaya Mountain is given. A lithological and paleoecological study of the limestones composing the structure was carried out, lithotypes corresponding to three genetic types were identified: biogenic, biochemogenic and mechanogenic. The sequence of formation of an organogenic structure consisting of four stages was determined: bank, biostrom, biogerm, reef. A detailed description of each stage of development is given. The presented results are of great importance for a better understanding of the development and spread of carbonation accumulation in the Pantalassa Ocean in the Late Triassic. Our research provides new data that can be combined into paleogeographic and geodynamic reconstructions of the Pantalassa Ocean.

Keywords: lithotypes, organogenic structure, paleosociety.

Введение

Органогенная постройка — карбонатное тело, образованное организмами, создающими устойчивый каркас, внутри которого накапливались генетически связанные карбонатные осадки. Органогенные постройки залегают среди стратифицированных отложений в виде изолированных тел размером от нескольких метров до сотен метров. Они существенно отличаются от вмещающих отложений и нередко кажутся инородными включениями. Вместе с тем ископаемые постройки составляют характерный элемент в строении осадочных толщ, с которыми они связаны общностью процессов седиментации в едином бассейне осадконакопления (Журавлёва и др., 1990; Королук и др., 1975).

Гора Сахарная расположена в бассейне реки Рудная в Дальнегорском районе Приморского края и представляет собой изолированный массив гребневидной формы (рис. 1, а, б). Органогенная постройка расположена в верхней части горы и представлена верхнетриасовыми известняками мощностью 500 метров (рис. 1, в).

В изучении триасовых карбонатных органогенных образований нет единого мнения относительно того, что представляют собой эти тела и каковы их взаимоотношения с вмещающими их терригенными породами. По мнению одних геологов, крупные карбонатные массивы находятся в коренном залегании и представляют собой рифы, вокруг которых развит шлейф олистостром, представленных обломками известняков различных размеров, залегающими в более молодом, как правило меловом, матриксе. Другие полагают, что все известняковые тела, включая самые крупные, являют собой олистостромы и вместе с нижнемеловым матриксом слагают гигантоолистострому, а следовательно, триасовых известняков в коренном залегании вообще нет (Кемкин, 2006; Радкевич, 1960; Рейман, 1965).

Впервые о рифогенном происхождении известняковых массивов Дальнегорского района сообщил О. Вейгель в 1914 году (Weigel, 1914). В 1933 году Г. П. Воларовичем была выделена тетюхинская свита, и разрез горы Сахарная являлся ее стратотипическим раз-

Для цитирования: Пунина Т. А., Малышева Е. Н. Литолого-генетическая характеристика верхнетриасовых дальнегорских известняков Таухинского террейна (гора Сахарная, Сихотэ-Алинь) // Вестник геонаук. 2023. 7(343). С. 27–35. DOI: 10.19110/geov.2023.7.3

For citation: Punina T. A., Malysheva E. N. Lithological and genetic characteristics of the Upper Triassic Dalnegorsk limestones of the Taukhinsky terrane (Sakharnaya mountain, Sikhote-Alin). Vestnik of Geosciences, 2023, 7(343), pp. 27–35, doi: 10.19110/geov.2023.7.3

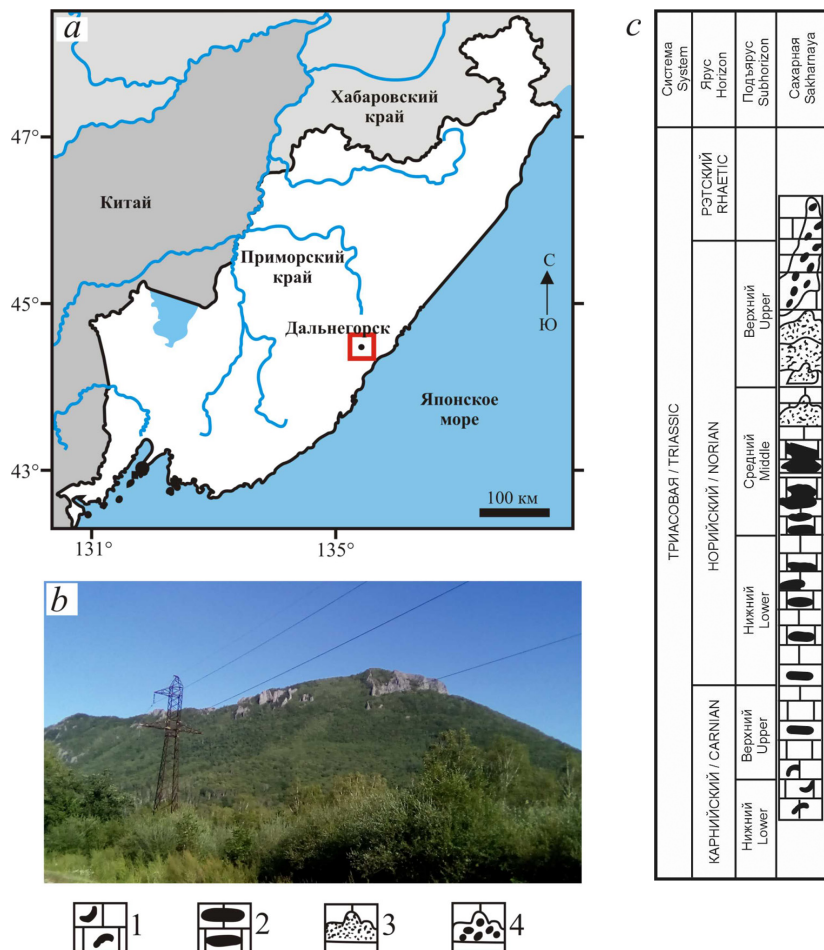


Рис. 1. Известняковый массив горы Сахарная: *a* — местонахождение, *b* — фотоизображение, *c* — стратиграфическая колонка; фации: 1 — банки, 2 — биострома, 3 — биогерма, 4 — рифа

Fig. 1. Limestone massif of Sakharная Mountain: *a* — location, *b* — photo, *c* — stratigraphic column; facies: 1 — bank, 2 — biostrom, 3 — bioherm, 4 — reef

резом (Воларович, 1935). На основании фауны кораллов, двустворок, фораминифер и конодонтов возраст считался среднепозднетриасовым. Общая мощность свиты оценивалась в 1100 м. Ю. Г. Гурулев после проведения геологической съемки в 1964 г. отложения тетюхинской свиты считал выдержанными по простиранию горизонтами (Гурулев, Пальгуева, 1964). А. С. Моисеев, изучивший коллекцию кораллов и моллюсков по сборам Б. Ю. Бринера и Л. Д. Кипарисовой, пришел к выводу, что карбонатные массивы представляют банки, а рифовые постройки отсутствуют (Моисеев, 1951). А. Ф. Баранов и соавторы (Баранов и др., 1952) считали, что известняки не отдельные рифовые массивы, а разобщенные части единого стратиграфического горизонта. Е. А. Радкевич утверждала, что основная масса известняков образовалась хемогенным путем (Радкевич, 1960). И. В. Бурий и Н. К. Жарникова на основе данных по двустворчатым моллюскам и конодонтам (Бурий, 1984; Бурий, Жарникова, 1981), а позже и другие исследователи (Вукс, Пунина, 2018; Peyrotty et al., 2020) доказали разновозрастность отдельных карбонатных массивов. В 1984 году В. А. Красилов и В. П. Парняков в результате обнаружения остатков нижнемеловой флоры в терригенных отложениях, относившихся к тетюхинской свите, пришли к выводу об олистостромовой природе известняков (Красилов, Парняков, 1984). Идеи об олистостромовой природе триасовых известняков и об их положении в тектоническом меланже разрабатывались также в ряде статей (Кемкин, 2006; Радкевич, 1960; Рейман, 1965; Ханчук и др., 1988). Положение триасовых известняковых массивов в терригенных образованиях раннемелового

Таухинского террейна, который, в свою очередь, рассматривается как часть аккреционной призм, было зафиксировано в ряде публикаций (Голозубов и др., 1992; Кемкин, 2006; Peyrotty et al., 2020).

Из краткого исторического обзора видно, что вопросы, касающиеся происхождения и условий залегания известняков, остаются нерешенными. В этой статье приведены фактические материалы и их интерпретация, которые важны для расшифровки структуры и первичного накопления известняков. Достоверное обоснование природы известняков горы Сахарная является необходимым условием решения этой проблемы.

Целью настоящей статьи является предоставление новых данных об органогенной постройке горы Сахарная, выделение и описание ее морфологии и стадий развития, выделение фаций, уточнение природы формирования массива.

Материал и методы исследований

Материалом для написания настоящей статьи послужили образцы верхнетриасовых органогенных известняков, отобранные авторами во время полевых работ на горе Сахарная. Было исследовано четыре разреза (рис. 2), отобрано более двухсот образцов, из них изготовлено и изучено около 200 шлифов. Изучение проводилось традиционными макро- и микроскопическими методами.

Органогенная постройка изучалась с применением традиционных геологических, палеонтологических и палеоэкологических исследований с детальным описанием вмещающих пород, характера расположения

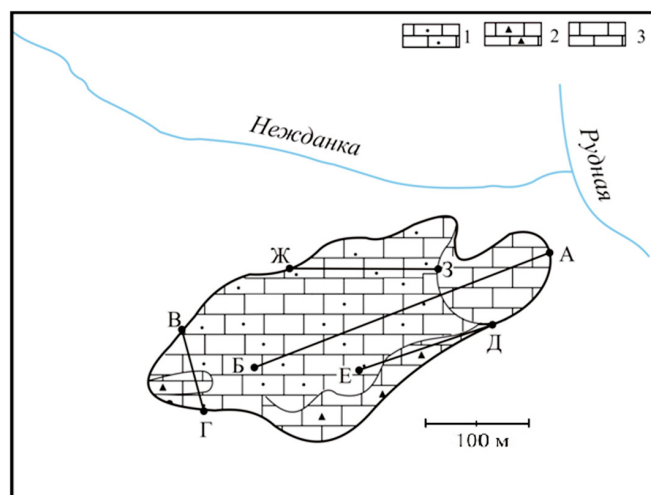


Рис. 2. Схема распределения генетических типов органогенных известняков горы Сахарная: 1 — биогенные, 2 — механогенные, 3 — биохемогенные; А-Б, В-Г, Ж-З, Д-Е — разрезы

Fig. 2. Distribution scheme of genetic types of organogenic limestones of Sakharnaya Mountain: 1 — biogenic, 2 — mechanogenic, 3 — biochemogenic; А-Б, В-Г, Ж-З, Д-Е — sections

в них органических остатков и их состава. В первую очередь выяснялся вещественный состав пород, цвет, структура и другие признаки органогенных построек.

Далее внимание уделялось ископаемым остаткам организмов в известняках. Изучались поверхности выветривания, так как в шлифах часто структура фоссилий перекристаллизована; определялись их морфологическое разнообразие и сохранность, делались зарисовки. Проводился анализ таксономического состава организмов в известняках и выяснялся общий облик, форма роста, прижизненное или нарушенное положение. Последующее изучение в камеральных условиях включало в себя детальное рассмотрение и описание

под микроскопом шлифов и пришлифовок. При изучении известняков применялся оптический микроскоп МБС-10. Фотографирование проводилось при помощи фотоаппарата Sony Cyber-shot DSC-H5 и видеоокуляра TouPCam UCMOS 10 MP. Осуществлялся подсчет процентного содержания организмов при помощи таблиц М. С. Швецова (Швецов, 1958).

С учетом всех полученных литологических и палеонтологических данных проводилось описание карбонатного массива с использованием следующих терминов: органогенная постройка, фации банки, биострома, биогерма и рифа (Журавлева и др., 1990).

Генетические типы известняков

Палеонтологическое и литологическое изучение верхнетриасовых известняков на горе Сахарная позволило выделить литотипы известняков, соответствующие трем генетическим типам: биогенные, биохемогенные и механогенные (рис. 2, табл. 1).

Биогенные известняки

Биогенные известняки представлены цельноскелетными и детритовыми литотипами.

Среди цельноскелетных известняков выделяются биогермные и целнораковинные. Биогермные известняки (рис. 3, а—д) — это известняки, образовавшиеся в результате жизнедеятельности прикрепленных организмов, способных создавать каркас, которые сохраняются на месте обитания в прижизненном положении. Для органогенных известняков в пределах массива горы Сахарная характерны светлая окраска, массивность, текстурная неоднородность и высокое разнообразие организмов рифостроителей. Часто наблюдаются инкрустационные структуры, типичные для пород рифового происхождения. Они имеют пятнистое распределение по массиву. Разновидности ор-

Таблица 1. Генетические типы известняков

Table 1. Genetic types of limestones

Генетические группы отложений Genetic sedimental groups	Литологические разновидности Lithological varieties	
Биогенная Biogenic	Цельноскелетные Integral skeletal	Биогермные / bioherm: - коралловые / coral, - водорослево-губково-коралловые / algae-sponge-coral, - микробально-водорослевые / microbial algae, - политаксонные / polytaxon Целнораковинные / whole shell: - мегалодоновые / megalodon
	Детритовые Detrital	- мшанково-криноидные / bryozoan-crinoidal - полидетритовые / polydetrital - шламовые / slurry
Биохемогенная Biochemogenic	Сфероагрегатные Spherous-aggregate	Пизолитовые Pisolitic
Механогенная Mechanogenic	Обломочные Clastic	Пелитоморфно-брекчиевидные Pelitomorphic-breccia

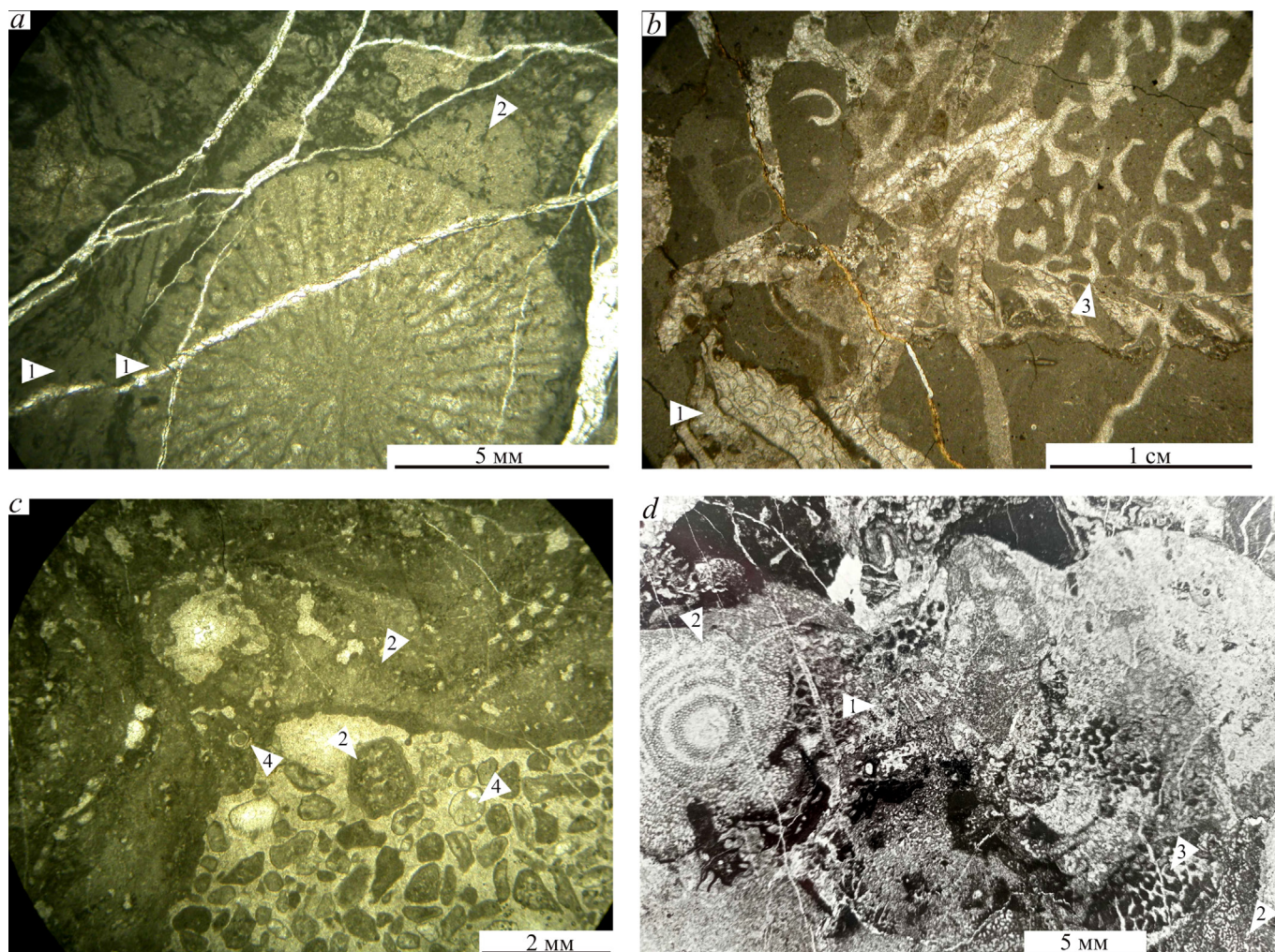


Рис. 3. Биогенные известняки (Дальнегорский район, гора Сахарная): *a* — коралловый известняк, коралл *Margarosmilia cultus* Punina, обр. № 229/184, фрагмент поперечного сечения кораллита, увел. 5, верхненорийский подъярус; *b* — водорослево-губково-коралловый известняк, обр. № 460-20, средненорийский подъярус; *c* — микробиально-водорослевый известняк, обр. № 460-101, норийский подъярус; *d* — политахсонный известняк, обр. № 460, верхненорийский подъярус. Стрелками обозначены: 1 — кораллы, 2 — водоросли, 3 — губки, 4 — фораминиферы

Fig. 3. Biogenic limestones (Dalnegorsk district, Sakharnaya Mountain): *a* — coral limestone, coral *Margarosmilia cultus* Punina, sample 229/184, fragment of a cross-section of corallite, Upper Norian; *b* — algal-sponge-coral limestone, sample 460-20, Middle Norian; *c* — microbial-algal limestone, sample 460-101, Norian; *d* — polytaxon limestone, sample 460, Upper Norian. Arrows indicate: 1 — corals, 2 — algae, 3 — sponges, 4 — foraminifera

ганогенных известняков выделены по преобладающим органогенным остаткам, процентное содержание которых определялось по площади, занятой ими вместе с внутренними полостями известняков. В составе биогермных выделяются коралловые, водорослево-губково-коралловые, микробиально-водорослевые и политахсонные разновидности.

Коралловые известняки (рис. 3, *a*) встречаются в средней и верхней частях массива и слагают фации биогерма и рифового ядра. Их мощность — от 0.5 до 5 метров. В основном известняки светло-серые, с темными пятнами, содержат целые кораллы и их фрагменты. Ископаемые остатки кораллов составляют около 40 % породы. Рифострояющие кораллы — как и все организмы, интенсивно накапливающие известь, лучше развиваются в зоне тропического мелководья в прозрачной воде, ярком освещении солнца в полосе активного волнения (Рейман, 1965). Для кораллов циркуляция воды необходима как поставщик пищи и кислорода, а также для смыва осадков с поверхности ко-

лоний. В этих известняках также многочисленны остатки водорослей, фораминифер, губок, моллюсков. Для биостромовых фаций характерно в основном присутствие одиночных форм кораллов таких родов, как *Coryphyllia*, *Margarophyllia* и колониальных форм, создающих дендроидные и цериоидные формы, представленных родами *Volzeia*, *Pachysolenia*, *Cerioheterastraea*. Кораллы фаций биогерма представлены многочисленными колониальными дендроидными, тамнастероидными, цериоидными формами. Среди них роды *Palaeastraea*, *Distichomeandra*, *Retiophyllia*, *Stylophyllum*, *Margarosmilia*, *Heterastraea*. В строении ядра рифа решающая роль принадлежит кораллам, среди которых преобладают *Gablonzeria*, *Retiophyllia*, *Distichomeandra*, *Margarosmilia*, *Toechastraea*, *Astraeomorpha*. Сравнивая коралловые комплексы горы Сахарная с таковыми других регионов, обнаружили близкое сходство на родовом и даже видовом уровнях в Японии, Юго-Восточном Китае, Юго-Восточном Памире и Доломитовых Альпах.



Водорослево-губково-коралловые известняки (рис. 3, *b*) образуют линзы мощностью 2—8 метров, расположенные в средней и нижней части горы. Они представлены серыми и темно-серыми массивными известняками, состоящими из фрагментов водорослей, гидроидных полипов, кораллов, губок, фораминифер. Кораллы составляют 10 % от общего количества всех организмов. Наблюдается чередование участков, сложенных одними водорослями, и совместного нахождения водорослей, кораллов, гидроидных полипов, мшанок, губок и различных рифолюбивых организмов при главенствующей роли водорослей. Моллюски представлены разрозненными скоплениями. Ископаемые органические остатки сцементированы спаритовым и крустификационным цементом.

Микробиально-водорослевые известняки (рис. 3, *c*) представлены серыми и светло-серыми разностями, образованными органогенными остатками, сцементированными спаритовым цементом. Органические остатки представлены водорослями, мшанками, криноидеями, моллюсками. Присутствуют микрогустки пе-

литоморфного кальцита и округлые образования с концентрической внутренней структурой. Размеры округлых образований от 0.5 до 2.0 мм, внутри иногда присутствуют обломки раковин фораминифер, моллюсков или зерна минералов. Состав и морфология организмов указывает, что эти известняки образовались в мелководных условиях фотической зоны.

Политаксонные известняки (рис. 3, *d*) образуют пачки мощностью 2—10 метров, сложенные остатками разнообразных ископаемых организмов-каркастроителей — кораллов, водорослей, гидроидных полипов, мшанок, среди которых трудно выделить главенствующие организмы. Эти известняки имеют изменчивый состав организмов, крупнопятнистую текстуру. Распространены в верхней части постройки, в зоне предполагаемого волнолома.

К цельнораковинным известнякам относятся **мегалодоновые разности** (рис. 4, *a*). Они плотные, светло-серые до черных, сложенные неокатанными обломками рифостроящих организмов и почти целыми раковинами моллюсков, фораминифер, сцементирован-

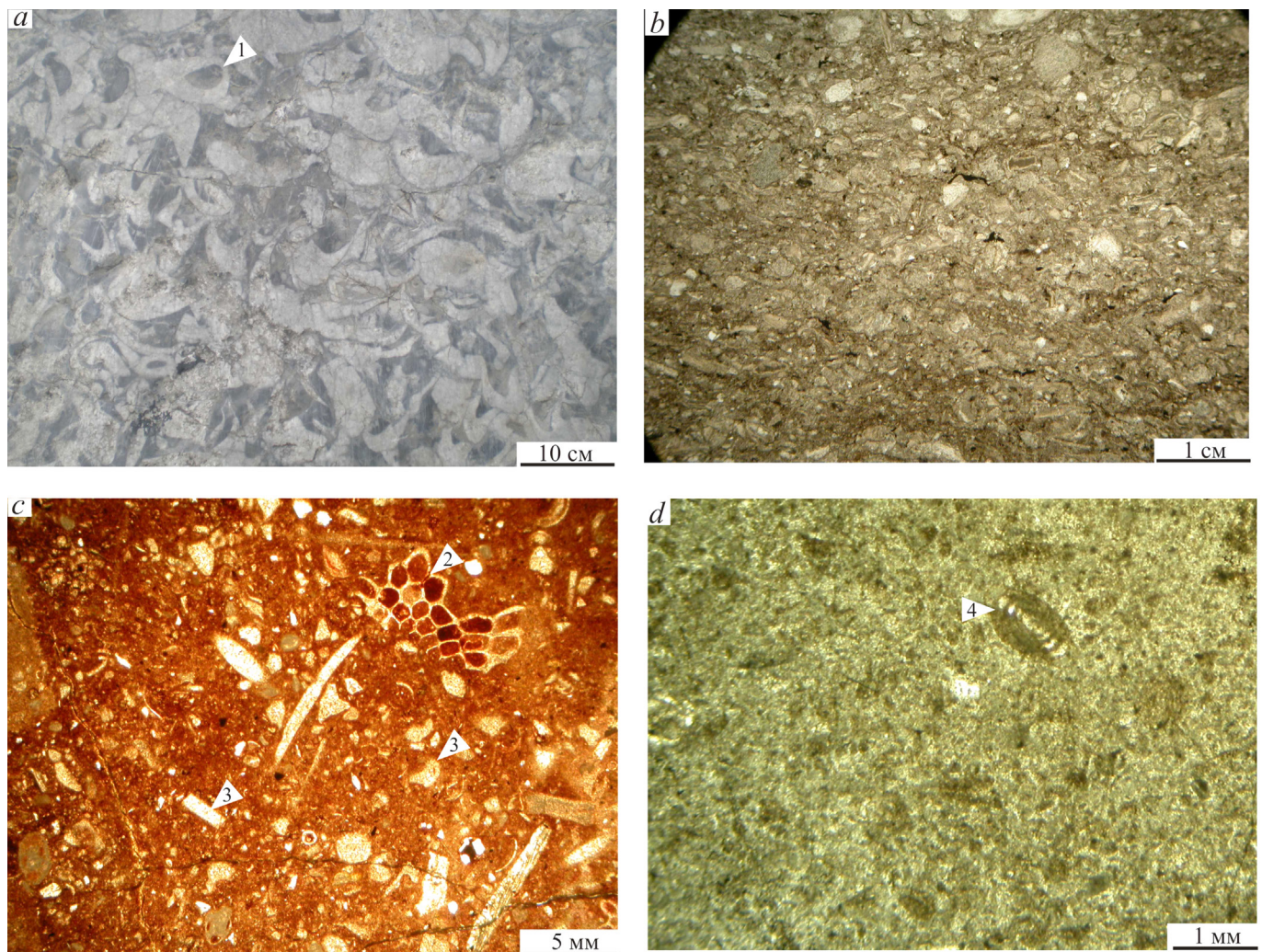


Рис. 4. Биогенные известняки (Дальнегорский район, гора Сахарная): *a* — мегалодоновый известняк, обр. № 461-10, карнийский подъярус; *b* — мшанково-криноидный известняк, обр. № 460-43, норийский подъярус; *c* — полидетритовый известняк, обр. № 460-70, верхненорийский подъярус; *d* — шламовый известняк, обр. № С38, норийский подъярус.

Стрелками обозначены: 1 — мегалодонтиды, 2 — мшанки, 3 — обломки криноидей, 4 — фораминиферы

Fig. 4. Biogenic limestones (Dalnegorsk district, Sakharnaya Mountain): *a* — megalodon limestone, sample 461-10, Carnian; *b* — bryozoan-crinoid limestone, sample 460-43, Norian; *c* — polydetritite limestone, sample 460-70, Upper Norian; *d* — slurry limestone, sample C38, Norian. Arrows indicate: 1 — megalodontids, 2 — bryozoan, 3 — fragments of crinoids, 4 — foraminifera

ных пелитоморфным кальцитом, составляющим более половины породы. Толстостенные *Neomegalodon* сложены крупнокристаллическим кальцитом и почти не поддаются препарировке. Присутствие крупных неокатанных раковин (до 90 %) указывает на их местное происхождение.

Детритовые известняки (рис. 4, *b–c*) сложены обломками скелетных организмов. В зависимости от крупности обломочного материала и от степени его окатанности они разделяются на мшанково-криноидные, полидетритовые и шламовые литотипы.

Мшанково-криноидные известняки (рис. 4, *b*) встречаются в средних частях массива небольшими по площади участками, измеряемыми от одного до двадцати метров. Это плотные темно-серые известняки, содержащие целые формы и обломки мшанок и криноидей. Кроме того, наблюдаются обрастающие водоросли в форме темных каемок на обломках криноидов, реже мшанок. Присутствует детрит, состоящий из обломков мшанок, криноидей, водорослей, фораминифер и редких спикул губок.

Полидетритовые известняки (рис. 4, *c*) встречаются прослоями и линзами размером от 5 сантиметров до трех метров. Они светло-серые до темно-серых, состоят из обломков кораллов, губок, водорослей, моллюсков. Обломки несортированные и, как правило, остроугольные. Карбонатный, карбонатно-глинистый цемент заполняет пространство между обломками. В нижней части постройки размер обломочного материала становится меньше, появляется окатанность и небольшая сортировка материала. Органогенно-обломочные известняки являются продуктом разрушения органогенной постройки и представляют фации склона.

Шламовые известняки (рис. 4, *d*) — плотные, от темно-серых до черных разностей, сложены мелкими обломками неопределимых организмов, сцементированных кальцитом. Известняки образуют линзы среди других типов известняков; размеры линз от 5 до 30 см.

Биохемотрогенные известняки

Биохемотрогенные известняки (рис. 5, *a*) образовались благодаря совместному действию бактерий, водорослей и химических процессов. Среди них выделены сфероагрегатные — **пизолитовые литотипы**.

Пизолитовые известняки (рис. 5, *a*) состоят из пизолитов размером 0.5–12.0 мм, в ядрах которых иногда находится остаток организма. Обычно это мелкие обломки рифостроителей и раковин моллюсков, а также фораминиферы. Ядра пизолитов сложены тонкозернистой массой и окружены концентрическими слоями кальцита. Встречаются и крупные сложные пизолиты, внутри общей оболочки которых заключены мелкие обломки организмов и зерна кальцита. Наиболее распространен мелкопизолитовый известняк, состоящий из одинаковых по величине и форме пизолитов. Пизолитовые известняки данного массива наиболее распространены и встречаются в основном в центральной части массива большими площадями, площадь их распространения от 20 до 50 метров. Иногда прослои мелко и крупнопизолитовых известняков чередуются.

Среди механогенных известняков выделены обломочные: **пелитоморфно-брекчиевые литотипы** (рис. 5, *b*). Они встречаются в средней части постройки и представлены темно-серыми породами, состоящими на 90 % из пелитоморфной массы, в которой рассеян биокластовый материал и местами отмечаются признаки брекчирования (периодического волнового взламывания донных осадков). Биокластовый материал представлен мелкими неокатанными обломками криноидей, мшанок, водорослей, остракод.

Развитие органогенной постройки

В строении массива прослеживаются четыре стадии развития (Пунина, 1987; 1999).

Стадия I характеризуется накоплением раковин организмов, которые образовали основание органогенной постройки (банку). Под ископаемой банкой понимаются карбонатные образования, сформирован-

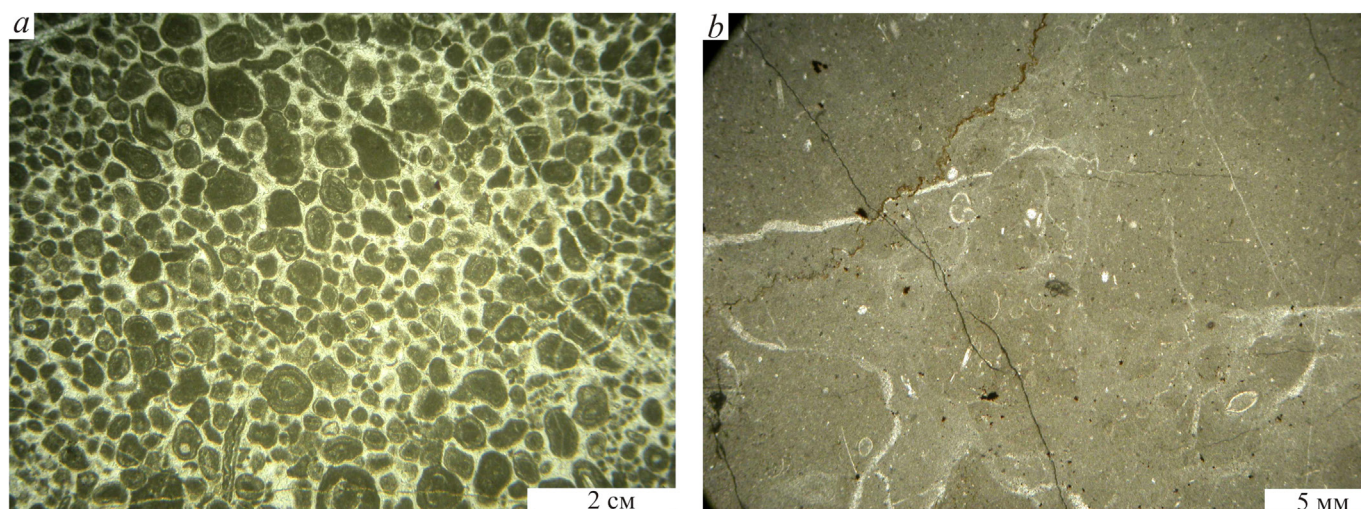


Рис. 5. Биохемотрогенные и механогенные известняки (Дальнегорский район, гора Сахарная): *a* — биохемотрогенный пизолитовый известняк, обр. № С88, норийский подъярус; *b* — механогенный пелитоморфно-брекчиевый известняк, обр. № 460-18, норийский подъярус

Fig. 5. Biochemogenic and mechanogenic limestones (Dalnegorsk district, Sakharnaya Mountain): *a* — biochemogenic pisolite limestone, sample C88, Norian; *b* — mechanogenic pelitomorpho-breccia limestone, sample 460-18, Norian



ные бентосными организмами, которые захоронились на месте обитания, но не создавали устойчивого каркаса, способного возвышаться над уровнем моря. Крупные двустворчатые моллюски мегалодонтиды сформировали пачку известняков мощностью от 2 до 3 метров. Остатки организмов встречаются как в виде обломков, так и целыми скелетами. Сохранность остатков хорошая, можно предполагать, что они сохранились практически на месте обитания, ниже базиса действия волн. Выше по разрезу эти фации сменяются темно-серыми известняками с остатками гастропод и двустворок.

Стадия II характеризуется развитием небольших лугов, которые после отмирания формировали каркасные постройки — биостромы, размером от первых десятков сантиметров до двух метров. Сложены они в основном водорослями, гидроидными полипами, кораллами и разнообразными моллюсками, фораминиферами. Форма биостромов изометричная или линзовидная. При прослеживании сообществ по простиранию наблюдается постоянное количественное преобладание водорослей и губок над другими каркасостроителями. Кораллы представлены небольшим количеством слабовеетистых форм. Биостромом считается слоистая линзовидная органогенная постройка, состоящая из каркасообразующих организмов и не выделяющаяся над прилегающими синхронными образованиями (Журавлёва, 1990; Королук и др., 1975).

На стадии III происходит формирование биогермного массива. Средняя часть постройки сложена простыми биогермами различной формы и размеров. Мощность биогермов меняется от 3 до 20 метров, и представлены они округлыми и куполовидными формами. Наиболее крупные биогермы — мощностью до 20 метров — развиты в центральной части органогенного карбонатного массива, а в краевых частях наблюдаются небольшие. В составе биогермов преобладают каркасные известняки, содержащие большое количество остатков кораллов, губок, гидроидных полипов, мшанок, брахиопод, водорослей, моллюсков. Наиболее многочисленны в данной фации ветвистые колонии кораллов *Margarosmilia cultus* Punina, *Retiophyllia buonamici* (Stoppa), *Volveia subdichotoma* (Munster). Кораллы образуют заросли, и в пространствах между ветвями колоний располагаются представители других групп бентоса: мшанки, моллюски, брахиоподы, гидроидные полипы, водоросли и другие. Небольшая примесь детритового материала заполняет промежутки между скелетными частями организмов.

На стадии IV происходит формирование рифа. Риф — сложная органогенная постройка, состоящая из совокупности рифовых фаций (отложения лагуны, склона, рифового ядра, рифового плато) (Журавлёва, 1990; Королук и др., 1975). Фация рифового ядра характеризуется большим количеством кораллов *Retiophyllia buonamici* (Stoppa), *Retiophyllia norica* (Frech), *Retiophyllia fenestrata* (Reuss), *Primorodendron improvisum* Punina, *Toechastrea plana vesiculosa* Melnikova, *Astraeomorpha crassisepta* (Reuss), стелющихся водорослей; многочисленны следы сверлильщиков. Остатки моллюсков, иглокожих, губок часто покрыты микритовым ободком, связанным с активностью водорослей, формирующих каркас, который характерен для стабильных мелководных сред с активной циркуляцией водной среды.

Фации рифового ядра имеют небольшую площадь распространения. В направлении к внутренней стороне волнореза они замещаются отложениями лагуны. Внутренняя лагуна — участок, отгороженный от наиболее активного действия морских вод. Лагунная фация характеризуется пизолитовыми и пелитоморфными известняками. Органических остатков в ней немного. Это гастроподы, двустворчатые моллюски, фораминиферы, иглокожие. Фации внутренней лагуны являются наиболее распространенными. Кроме фаций закрытой лагуны в рифе представлены фации, типичные для открытой лагуны. Это хорошо отсортированный пелоидный известняк с дазикладиевыми водорослями, иглокожими, моллюсками. Отложения склона представлены органогенно-обломочными породами. В основном это несортированные известняки с обломками и целыми скелетами организмов.

Изучение всех частей органогенной постройки по простиранию и по вертикали позволяет предположить, что в период развития наблюдалось постепенное изменение уровня дна моря. В спокойных глубоких водах возникали банковые поселения организмов. В период образования отдельных биостромов условия менялись с глубоководных на более мелководные. При такой обстановке рифостроящая деятельность организмов активизировалась, в результате чего возникали биостромы, биогермы и риф.

Рост органогенной постройки происходил путем непрерывного и последовательного нарастания активно живущих каркасных организмов на твердую поверхность, образованную скелетными остатками уже отмерших организмов и продуктов их разрушения. Основание первичных каркасных сооружений постепенно засыпалось синхронными рыхлыми осадками. Но в рельефе дна продолжали выступать верхние, более активно живущие части постройки. Со временем рифообразование прекратилось и постройка превратилась в изолированное геологическое тело органогенных известняков.

Закключение

Авторы не являются принципиальными противниками экзотических глыб. Они имеются в Дальнегорском районе, но известняки горы Сахарная к ним не относятся. С точки зрения авторов, известняки горы Сахарная — это сложная органогенная постройка, в большинстве случаев сохранившая свою первичную целостность, о чем свидетельствует в первую очередь стадийность образования от простого к сложному. Литологические и палеонтологические данные свидетельствуют, что данная органогенная постройка прошла четыре стадии развития. Рифообразованию предшествовало формирование банок, выше которых образовывались вначале разрозненные сооружения типа биостромов и биогермов. Со временем они стали более частыми и сближенными и в дальнейшем приобрели признаки рифа.

О стадийности развития постройки также свидетельствуют наличие рифостроителей и рифолюбых, последовательная смена палеосообществ. Исследованиями авторов подтверждается рифогенная природа известняков горы Сахарная. Впервые были выделены и описаны генетические типы известняков.



Авторы выражают благодарность и признательность анонимным рецензентам за уделённое внимание и ценные советы, помогающие улучшить содержание статьи. Работа выполнена в рамках темы НИР ДВГИ ДВО РАН (№ 0270-2016-0001).

Литература / References

- Баранов А. Ф. и др. Геологическое строение восточной части Лифутзинского района // Материалы по геологии и оловоносности восточных районов СССР. М.: Госгеолиздат, 1952. С. 152—160.
- Baranov A. F. et al. *Geologicheskoye stroyeniye vostochnoy chasti Lifutzinskogo rayona. Materialy po geologii i olovo-nosnosti vostochnykh rayonov SSSR* (Geological structure of the eastern part of the Lifutzinsky region. Materials on geology and tin content of the eastern areas of the USSR). Moscow: Gosgeolizdat, 1952, pp. 152—160.
- Бурый И. В. Некоторые виды конодонтов из известняков тетюхинской свиты // Новое в геологии Дальнегогорского рудного района. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. С. 37—47.
- Bury I. V. *Nekotoryye vidy konodontov iz izvestnyakov tetyukhinskoy svity. Novoye v geologii Dal'negorskogo rudnogo rayona* (Some types of conodonts from limestones of the Tetyukhinskaya suite. New in geology of the Dalnegorsk ore region). Vladivostok: Far Eastern Scientific Center of the Academy of Sciences of the USSR, 1984, pp. 37—47.
- Бурый И. В., Жарникова Н. К. Возраст карбонатных толщ тетюхинской свиты Дальнегогорского района (Приморье) // Советская геология. 1981. № 3. С. 76—80.
- Bury I. V., Zharnikova N. K. *Vozrast karbonatnykh tolshch tetyukhinskoy svity Dal'negorskogo rayona (Primor'ye)* (The age of the carbonate strata of the Tetyukhinskaya suite in the Dal'negorsk region (Primor'e)). *Sovetskaya Geologiya*, 2014, V. 1981, No. 3, pp. 76—80.
- Волярович Г. П., Скороход В. З. Краткий геологический очерк горной области Сихотэ-Алиня // Тр. Дальневост. гидрогеод. треста. 1935. Вып. 65. 30 с.
- Volarovich G. P., Skorokhod V. Z. *Kratkiy geologicheskiy ocherk gornoy oblasti Sikhote-Alinya* (Brief geological outline of the Sikhote-Alin mountain region). Proc. Far East. Hydrogeodes. Trust, 1935, 65, 30 p.
- Вукс В. Я., Пунина Т. А. Позднетриасовые фораминиферы юга Дальнего Востока // Региональная геология и металлогения. 2018. № 74. С. 71—77.
- Vuks V. Ya., Punina T. A. *Pozdnetriasovyye foraminifery yuga Dal'nego Vostoka* (Late Triassic foraminifers of the south of the Far East) *Regional geology and metallogeny*, 2018, No. 74, pp. 71—77.
- Гурулев Ю. Т., Пальгужева М. Ф. Новые данные о юрских отложениях Тетюхинского района // Инф. сб. ПГУ. Владивосток: Дальневосточное кн. изд-во, 1964. № 5. С. 27—29.
- Gurulev Yu. T., Palgucheva M. F. *Novyye dannyye o yurskikh otlozheniyakh Tetyukhinskogo rayona* (New data on the Jurassic deposits of the Tetyukhinsky region), Inf. book of PSU., Vladivostok: Far Eastern publishing house, 1964, No. 5, pp. 27—29.
- Голозубов В. В., Ханчук А. И., Кемкин И. В., Панченко И. В. Таухинский и Журавлевский террейны (Южный Сихотэ-Алинь): Препринт. Владивосток: ДВО РАН. 1992. 82 с.
- Golozubov V. V., Khanchuk A. I., Kemkin I. V., Panchenko I. V. *Taukhinskiy i Zhuravlevskiy terreyiny (Yuzhnyy Sikhote-Alin)* (Taukha and Zhuravlev terranes (Southern Sikhote-Alin)): Preprint. Vladivostok: FEB RAS, 1992, 82 p.
- Журавлева И. Т., Космынин В. Н., Кузнецов В. Г., и др. Современные и ископаемые рифы. Термины и определения. М.: Недра, 1990. 183 с.
- Zhuravleva I. T., Kosmynin V. N., Kuznetsov V. G., et al. *Sovremennyye i iskopayemyye rify. Terminy i opredeleniya* (Recent and fossil reefs. Terms and Definitions). Moscow: Nedra, 1990, 183 p.
- Кемкин И. В. Геодинамическая эволюция Сихотэ-Алиня и Япономорского региона в мезозое. М.: Наука, 2006. 258 с.
- Kemkin I. V. *Geodinamicheskaya evolyutsiya Sikhote-Alinya i Yaponomorskogo regiona v mezozoye* (Geodynamic evolution of the Sikhote-Alin and the Sea of Japan region in the Mesozoic). Moscow: Science, 2006, 258 p.
- Королюк И. К., Михайлова М. В., Равикович А. И., Краснов Е. В., Кузнецов В. Г., Хатьянов Ф. И. Ископаемые органогенные постройки, рифы, методы их изучения и нефтегазоносность. М.: Наука, 1975. 236 с.
- Korolyuk I. K., Mikhailova M. V., Ravikovich A. I., Krasnov E. V., Kuznetsov V. G., Khatyanov F. I. *Iskopayemyye organogennyye postroyki, rify, metody ikh izucheniya i neftegazonosnost* (Fossil organogenic structures, reefs, methods of their study, and oil and gas potential). Moscow: Science, 1975, 236 p.
- Красилов В. А., Парняков В. П. Рудоносная тетюхинская свита — олистостромовый комплекс // ДАН СССР. 1984. Т. 277. № 3. С. 669—671.
- Krasilov V. A., Parnyakov V. P. *Rudonosnaya tetyukhinskaya svita —olistostromovyy kompleks* (Ore-bearing Tetyukhinskaya suite —olistostrom complex). *Doklady Earth Sciences*, 1984, V. 277, No. 3, pp. 669—671.
- Моисеев А. С. О кораллах и других организмах из известняков Приморской области (в бассейне р. Тетюхе) // Тр. Геол. и минерал. об-ва естеств. Ленингр. отд. Л., 1951. Т. 83, вып. 2. С. 208—237.
- Moiseev A. S. *O korallakh i drugikh organizmakh iz izvestnyakov Primorskoy oblasti (v basseynе r. Tetyukhe)* (On corals and other organisms from limestones of the Primorsky region (in the Tetyukha river basin). Proc. of geol. and mineral. natural. society, Leningrad department, Leningrad, 1951, V. 83, 2, pp. 208—237.
- Пунина Т. А. О кораллах и рифовых постройках триаса Приморья // Проблемы биостратиграфии перми и триаса Востока СССР. Владивосток: ДВНЦ, 1987. С. 74—76.
- Punina T. A. *O korallakh i rifovykh postroykakh triasa Primor'ya. Problemy biostratigrafii permi i triasa Vostoka SSSR* (On corals and reef structures of the Triassic of Primorye. In: Problems of Biostratigraphy of the Permian and Triassic of the East of the USSR). Vladivostok: FESC, 1987, pp. 74—76.
- Пунина Т. А. Триасовые склерактинии в органогенных постройках Дальнегогорского района (Сихотэ-Алинь). Владивосток: Дальнаука, 1999. 128 с.
- Punina T. A. *Triasovyye skleraktinii v organogennykh postroykakh Dal'negorskogo rayona (Sikhote-Alin)* (Triassic scleractinia in organogenic structures of the Dalnegorsk region (Sikhote-Alin)). Vladivostok: Dalnauka, 1999, 128 p.



- Радкевич Е. А. Геология свинцово-цинковых месторождений Приморья // Тр. ИГЕМ. 1960. Вып. 34. С. 37–54.
Radkevich E. A. *Geologiya svintsovo-tsinkovykh mestorozhdeniy Primor'ya* (Geology of lead-zinc deposits in Primorye), Proc. IGEM, 1960, 34, pp. 37–54.
- Рейман В. М. Герматипные и агерматипные кораллы // Склерактинии мезозоя СССР. Вып. 4. М.: Наука, 1965. С. 14–19.
Reiman V. M. *Germatipnyye i agermatipnyye korally* (Hermatypic and agermatypic corals). In: Scleractinia of the Mesozoic of the USSR. Issue 4, Moscow: Nauka, 1965, pp. 14–19.
- Ханчук А. И., Панченко И. В., Кемкин И. В. Геодинамическая эволюция Сихотэ-Алиня и Сахалина в палеозое и мезозое: Препринт. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. 56 с.
Khanchuk A. I., Panchenko I. V., Kemkin I. V. *Geodinamicheskaya evolyutsiya Sikhote-Alinya i Sakhalina v paleozoye i mezozoye* (Geodynamic evolution of Sikhote-Alin and Sakhalin in the Paleozoic and Mesozoic): Preprint. Vladivostok: FEB AS USSR, 1988, 56 p.
- Швецов М. С. Петрография осадочных пород. 3-е изд., перераб и доп. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 416 с.
Shvetsov M. S. *Petrografiya osadochnykh porod* (Petrography of sedimentary rocks). 3rd ed., revised and additional. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1958, 416 p.
- Peypotty G., Rigaud S., Kemkin I., Martini R. // Sedimentology and biostratigraphy of upper Triassic atoll-type carbonates from the Dalnegorsk area, Taukha terrane, far East Russia // Global and Planetary Change. 2020. № 184. P. 1–24. DOI: [10.1016/j.gloplacha.2019.103072](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.103072)
- Weigel O. Ueber einige erzlagerstaetten am Sichota-Alin in Ostsibirien. Neues Jahrb. Mineral., Geol., Palaeontol. 1914. Vol. 37. P. 653–738.

Поступила в редакцию / Received 07.04.2023



Cathodoluminescence of conodont elements

A. V. Zhuravlev

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar; *micropalaeontology@gmail.com*

Conodont elements are used as a geochemical archive of seawater. Some compositional features of conodont elements reflect conodont ecology and trophic structure of Palaeozoic pelagic ecosystems. However, the screening of conodont elements prior to geochemical and/or isotopic studies is a real problem. This study evaluates SEM cathodoluminescence (SEM-CL), which is very sensitive to the REE and Mn content of apatite, for the detection of traces of secondary transformation in the composition of conodont bioapatite. The SEM-CL of conodont elements is similar to that of unaltered shark teeth (blue-violet), but differs significantly from that of fossil vertebrate teeth (orange-red). Thermal alteration has little effect on the SEM-CL. Elements with a CAI of 1–1.5 show a redder and more intense CL than elements with a CAI of 5. In the case of corrosion of the conodont element surface in carbonate host rocks, the CL of the outer parts of the conodont element become reddish due to invasion of the carbonate material. Conodont elements from the clay host rock show deep purple SEM-CL. Thus, SEM-CL allows detection of the results of secondary processes in conodont mineralised tissues, including enrichment by REE and/or Mn, corrosion and contamination by carbonate material. This method can be used to screen significantly altered samples prior to chemical and isotopic analyses.

Keywords: *conodonts, cathodoluminescence, mineralised tissues, taphonomy.*

Катодолуминесценция конодонтовых элементов

А. В. Журавлев

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

Конодонтовые элементы широко используются в качестве геохимического архива морской воды. Некоторые композиционные особенности конодонтовых элементов отражают экологию конодонтов и трофическую структуру палеозойских пелагических экосистем. Однако скрининг конодонтовых элементов перед геохимическими и/или изотопными исследованиями представляет собой реальную проблему. В данном исследовании оценивается катодолуминесценция (SEM-CL), очень чувствительная к содержанию REE и Mn в апатите, для обнаружения следов вторичного преобразования в составе конодонтового биоапата. SEM-CL конодонтовых элементов сходна с таковой неизмененных зубов акул (сине-фиолетовый цвет), но значительно отличается от таковой ископаемых зубов позвоночных (оранжево-красный цвет). Термическое изменение влияет на SEM-CL конодонтовых элементов в незначительной степени. Конодонтовые элементы с ИОК = 1–1.5 демонстрируют более красноватую и более интенсивную катодолуминесценцию по сравнению с элементами с ИОК = 5. В случае коррозии поверхности конодонтовых элементов в карбонатных вмещающих породах SEM-CL внешней части конодонтовых элементов становится красноватой из-за включений карбонатного материала. Конодонтовые элементы из глинистой вмещающей породы демонстрируют темно-фиолетовый цвет SEM-CL. Таким образом, SEM-CL позволяет выявить результаты вторичных процессов в минерализованных тканях конодонтов, включая обогащение REE и/или Mn, коррозию и загрязнение карбонатным материалом. Этот метод может быть использован для выявления значительно измененных образцов перед проведением химического и изотопного анализов.

Ключевые слова: *конодонты, катодолуминесценция, минерализованные ткани, тафономия.*

Introduction

The study of the structure and composition of conodont bioapatite has yielded useful results. Conodont elements are used as a geochemical archive of seawater O and Sr isotopic composition (e.g. Luz et al., 1984; Joachimski, Buggisch, 2002; Kürschner et al., 1992; Trotter et al., 1999; Griffin et al., 2021). The carbon isotope composition of conodont elements promises to be a useful tool for reconstructing conodont ecology and trophic structure of Palaeozoic pelagic ecosystems (Zhuravlev, 2020, 2023). The Ca/Sr ratio and Ca isotope composition in conodont apatite likely reflect the position of the conodont in the food web (Balter et al., 2019; Zhuravlev et al., 2020).

The results of conodont elemental chemistry studies face the problem of distinguishing between primary and secondary geochemical signals. Usually, the thermal alteration revealed by CAI and the conodont elemental surface evaluated by SEM are the only features used to evaluate secondary changes of conodont element matter. SEM-EDS has low sensitivity for the precise study of likely

geochemical exchanges between conodont elements and surrounding matter (ambient water, pore water and host rock). Therefore, screening of conodont elements prior to geochemical and/or isotopic studies is a practical issue (e.g., Zhuravlev & Shevchuk, 2017; Zhuravlev, 2023).

Cathodoluminescence (CL) is widely used to study minerals and single crystals (e.g. Richter et al., 2003; Götze, 2012). In particular, CL is used to study the composition of apatite. This method is very sensitive to the REE and Mn content of the apatite (Richter et al., 2003). Elevated Mn and REE concentrations induce orange to violet cathodoluminescence (CL) of this mineral (Ségalen et al., 2008; Wierzbowski, 2021). Cathodoluminescence analysis is used to assess the state of preservation of vertebrate teeth and conodont elements (Wierzbowski et al., 2021; Wierzbowski, 2021). The influence of diagenetic alteration on the chemical composition of bioapatites is well known (Wierzbowski, 2021). Therefore, CL appears to be useful for detecting traces of geochemical exchange between conodont bioapatite and surrounding media. Thus, CL can

For citation: Zhuravlev A. V. Cathodoluminescence of conodont elements. Vestnik of Geosciences, 2023, 7(343), pp. 36–42, doi: 10.19110/geov.2023.7.4

Для цитирования: Журавлев А. В. Катодолуминесценция конодонтовых элементов // Вестник геонаук. 2023. 7(343). С. 36–42. DOI: 10.19110/geov.2023.7.4



be used to assess secondary changes in the composition of bioapatite. In addition, the sensitivity of CL to differences in organic content and crystalline structure of apatite makes it possible to use CL as a tool for the detection of conodont element tissues.

The aim of this work is to evaluate CL as a tool for the study of conodont element histology and to assess the preservation of conodont element matter and the likely uptake of elements from host rocks.

Material

The study material comes from the Tournaisian (Lower Mississippian) shallow-water carbonate platform successions (sections in the Kamenka River basin, east of the Pechora Plate, northern Cis-Urals) and the deep-water succession (section in the Konstantinov Creek section, Cis-Polar Urals) (fig. 1).

16 polished sections of conodont elements of different morphology and preservation were examined by SEM, SEM-CL and light microscopy. Seven conodont elements from the Kamenka River sections have a CAI of 1, and nine conodont elements from the Konstantinov Creek section have a CAI of 5 (P1 elements of *Siphonodella quadruplicata* (Branson et Mehl) and *Hindeodus crassidentatus* (Branson et Mehl), and S element of *Idioprioniodus* sp.) (fig. 2). Among the conodont elements with CAI = 1, two elements (S and M) are from a clay host rock (figs. 2.9 and 2.10) and five elements (P1 of *Polygnathus parapetus* Druce) are from the limestone host rock (figs. 2.12–2.15). In addition, five conodont elements (*Pelekysgnathus isodontatus* Aristov, *Bispathodus stabilis* (Branson et Mehl) Morphotype 1, *Polygnathus communis communis* Branson et Mehl, and *Pseudopolygnathus graulichii* Bouckaert et Groessens) of different surface quality, including calcite inclusions, were examined (fig. 3).

Methods

Processing of limestone samples followed the standard procedure documented by Harris and Sweet (1989) (dissolution of limestone in 10% buffered acetic acid). Clay samples were dispersed in hot water. The residue was washed through a 70 µm sieve, dried and the conodont elements were collected.

The specimens were mounted in low molecular weight epoxy resin based on Bis A (CHS-EPOXY 520), ground and polished. The specimens were ground using UltraPrep (Buehler) diamond grinding discs before polishing with MasterPrep Sol-Gel alumina suspension. The polished surface was ultrasonically cleaned for 30 min. The polished slab was coated with C for sample conductivity in the SEM.

Light microscopy combined with SEM was used to examine the surface of the conodont elements for corrosion and the polished sections for hard tissue distribution and texture.

EDS and SEM analyses of polished sections provide data on the texture and composition of conodont hard tissues. These analyses were carried out using an Axia ChemiSEM (Thermo Scientific). EDS analysis was performed on the same SEM equipped with a TrueSight X EDS detector.

SEM-CL analyses were performed using an Axia ChemiSEM (Thermo Scientific) at an accelerating voltage of 20 kV, a working distance of 10 mm, a beam current of

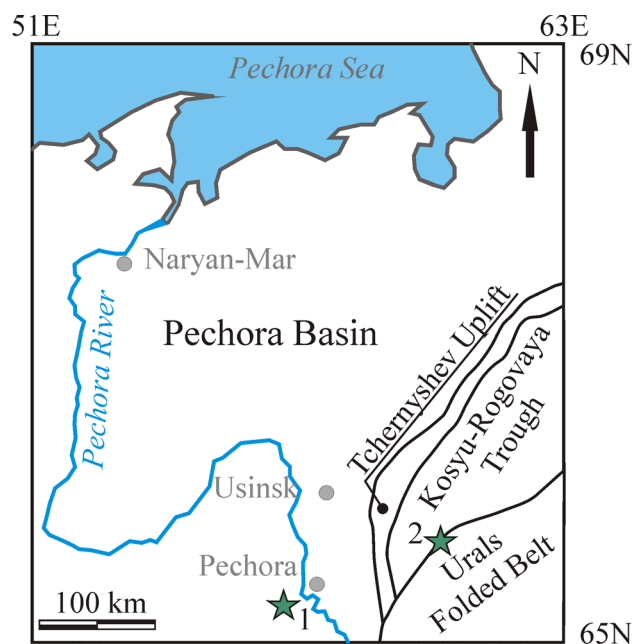


Fig. 1. Locality map: 1 — Kamenka River sections, Pechora Basin; 2 — Konstantinov Creek section, Cis-Polar Urals

Рис. 1. Схема расположения разрезов: 1 — разрез на р. Каменка, Печорский бассейн; 2 — разрез на руч. Константинов, Приполярий Урал

1.2×10^{-9} A and a dwell time of 3×10^{-5} s. The colour of the CL was evaluated on a triple plot in RGB coordinates, providing a semi-quantitative analysis of the CL. Increasing the acceleration voltage from 20 kV to 30 kV resulted in a certain red shift (in RGB coordinates) of the CL of conodont elements. Therefore, the RGB coordinates of the CL of the specimens were analysed only for the accelerating voltage of 20 kV. CL images obtained at 30 kV accelerating voltage were used for illustrations only.

Sample preparation, CL, EDS and SEM analyses were performed at Center for Collective Use of Scientific Equipment "Geonauka" of N.P. Yushkin Institute of Geology FC Komi SC UrB RAS (Syktyvkar, Russia). Original software was developed for the preparation of the triple diagram in RGB coordinates. Image analysis was performed using ImageJ software (Schneider et al., 2012).

Results

Optic microscopy and SEM

Under light microscopy and SEM, the studied conodont elements show good preservation and no traces of re-crystallisation, with the exception of one specimen (*Polygnathus parapetus* Druce from sample 122-3/16). This specimen has a corroded surface (fig. 2.15). Some conodont elements show surface contamination by carbonate particles, visible in SEM images (fig. 3).

EDS results

EDS data suggest the presence of small amounts of REE (Nd, Yb) in the conodont apatite of some samples. REE (up to 0.2 % at.) were only detected in conodont elements that came from the clayey deposit. The Mn content in the conodont apatite is below the detection threshold of the EDS instrument ($< 0.1\%$ at.). It is noteworthy that

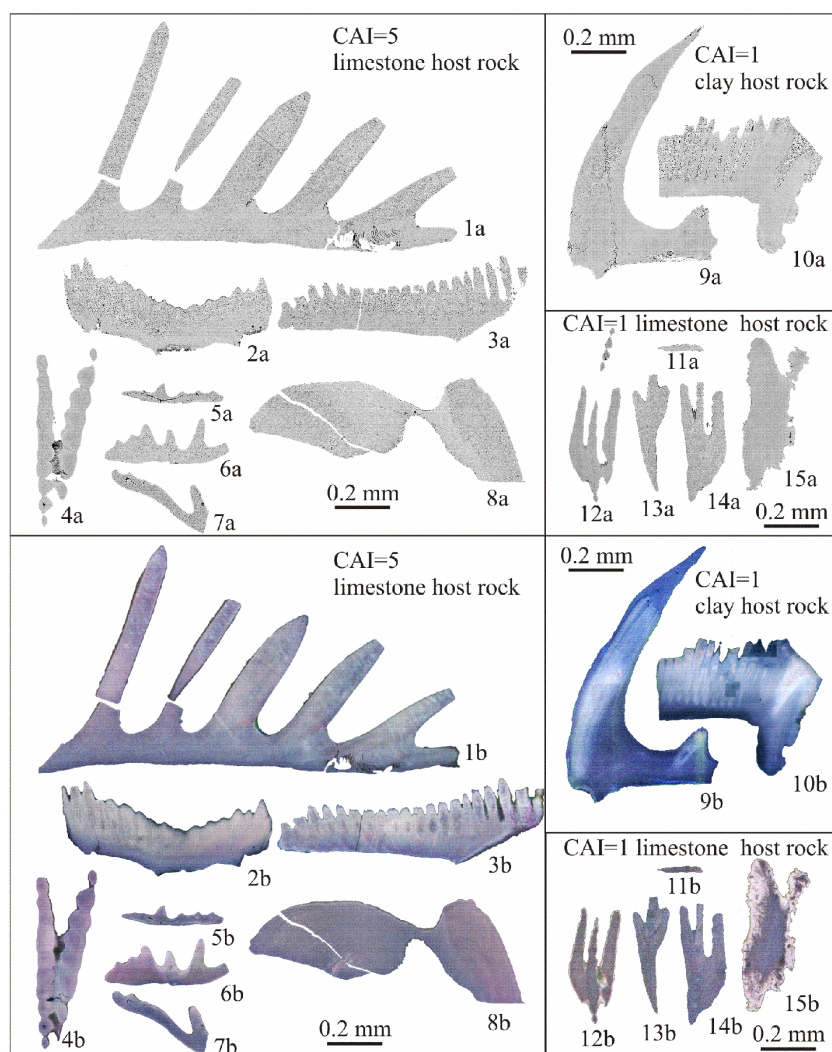


Fig. 2. SEM (a) and SEM-CL (b) images of polished sections of conodont elements. 1 — *Idioproniodus* sp., S element, longitudinal section, sample 0-7K, the Konstantinov Creek section, middle Tournaisian; 2, 3 — *Hindeodus crassidentatus* (Branson et Mehl), P1 elements, longitudinal sections, sample 0-7K, the Konstantinov Creek section, middle Tournaisian; 4 — *Siphonodella quadruplicata* (Branson et Mehl), P1 element, oblique section of rostrum, sample 0-7K, the Konstantinov Creek section, middle Tournaisian; 5, 6 — *Siphonodella quadruplicata* (Branson et Mehl), P1 elements, transverse sections of anterior platform, sample 0-7K, the Konstantinov Creek section, middle Tournaisian; 7, 8 — *Siphonodella quadruplicata* (Branson et Mehl), P1 elements, oblique sections of platform, sample 0-7K, the Konstantinov Creek section, middle Tournaisian; 9 — S element, longitudinal section, sample 121-2-1/90, the Kamenka River section, middle Tournaisian; 10 — M element, longitudinal section, sample 121-2-1/90, the Kamenka River section, middle Tournaisian; 11 — *Polygnathus parapetus* Druce, P1 element, transverse section of free blade, sample 111A-4/19, the Kamenka River section, lowermost Tournaisian; 12 — *Polygnathus parapetus* Druce, P1 element, oblique section, sample 121-1/18, the Kamenka River section, lowermost Tournaisian; 13 — *Polygnathus parapetus* Druce, P1 element, oblique section, sample 111A-5/19, the Kamenka River section, lowermost Tournaisian; 14 — *Polygnathus parapetus* Druce, P1 element, oblique section, sample 111A-3/19, the Kamenka River section, lowermost Tournaisian; 15 — *Polygnathus parapetus* Druce, P1 element, oblique section, sample 122-3/16, the Kamenka River section, middle Tournaisian; 1b–8b — CL images are obtained at 30 kV accelerating voltage; 9b–15b — CL images are obtained at 20 kV accelerating voltage

Рис. 2. SEM-(a) и SEM-CL-(b)-изображения полированных срезов конодонтовых элементов: 1 — *Idioproniodus* sp., S-элемент, продольный разрез, образец 0-7K, разрез на руч. Константинов, средний турне; 2, 3 — *Hindeodus crassidentatus* (Branson et Mehl), P1-элементы, продольные разрезы, образец 0-7K, разрез на руч. Константинов, средний турне; 4 — *Siphonodella quadruplicata* (Branson et Mehl), P1-элемент, косой разрез ростра, образец 0-7K, разрез на руч. Константинов, средний турне; 5, 6 — *Siphonodella quadruplicata* (Branson et Mehl), P1-элементы, поперечные срезы передней платформы, образец 0-7K, разрез на руч. Константинов, средний турне; 7, 8 — *Siphonodella quadruplicata* (Branson et Mehl), P1-элементы, косые срезы платформы, образец 0-7K, разрез на руч. Константинов, средний турне; 9 — S-элемент, продольный разрез, образец 121-2-1/90, разрез на р. Каменка, средний турне; 10 — M-элемент, продольный разрез, образец 121-2-1/90, разрез на р. Каменка, средний турне; 11 — *Polygnathus parapetus* Druce, P1-элемент, поперечный разрез свободного листа, образец 111A-4/19, разрез на р. Каменка, нижний турне; 12 — *Polygnathus parapetus* Druce, P1-элемент, косой разрез, образец 121-1/18, разрез на р. Каменка, нижний турне; 13 — *Polygnathus parapetus* Druce, P1-элемент, косой срез, образец 111A-5/19, разрез на р. Каменка, нижний турне; 14 — *Polygnathus parapetus* Druce, P1-элемент, косой срез, образец 111A-3/19, разрез на р. Каменка, нижний турне; 15 — *Polygnathus parapetus* Druce, P1-элемент, косой срез, образец 122-3/16, разрез на р. Каменка, средний турне; 1b–8b — CL-изображения получены при ускоряющем напряжении 30 кВ; 9b–15b — CL-изображения получены при ускоряющем напряжении 20 кВ

the distribution of Mn in the conodont element is almost uniform and independent of that of the tissues (Trotter, Eggins, 2006).

SEM-CL of different tissues

The different tissue types distinguished by SEM and light microscopy show some differentiation on CL (fig. 4). Glow-violet CL is characteristic of albid tissue. Red-violet CL is specific for paralamellar tissue. Lamellar tissue shows deep purple CL. In general, CL images show clear tissue differentiation in brightness and weak differentiation in hue (fig. 4).

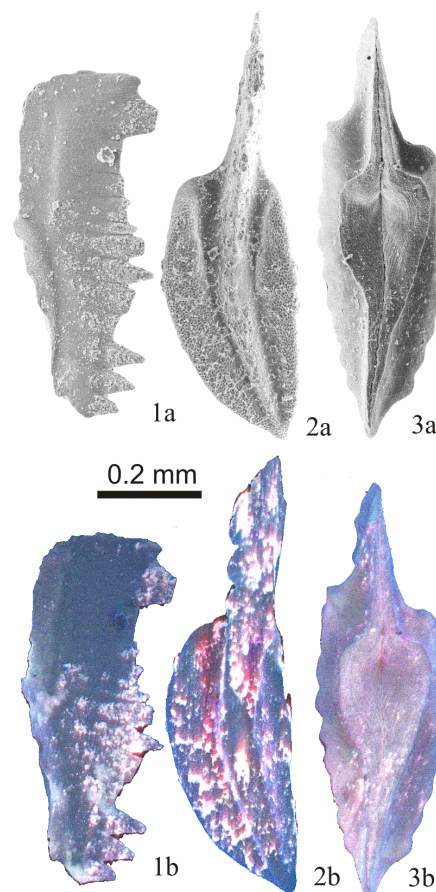


Fig. 3. SEM-(a) and SEM-CL-(b) images of conodont elements: 1 — *Bispathodus stabilis* (Branson et Mehl) Morphotype 1, P1 element, sample 101-5/19, the Kamenka River section, upper Famennian; 2 — *Polygnathus communis communis* Branson et Mehl, P1 element, sample 101-3/19, the Kamenka River section, upper Famennian; 3 — *Pseudopolygnathus graulichii* Bouckaert et Groessens, P1 element, sample 101-5/19, the Kamenka River section, upper Famennian. CL images obtained at 20 kV accelerating voltage

Рис. 3. SEM-(a)- и SEM-CL-(b)-изображения элементов конодонтов: 1 — *Bispathodus stabilis* (Branson et Mehl) морфотип 1, P1-элемент, образец 101-5/19, разрез на р. Каменка, верхний фамен; 2 — *Polygnathus communis communis* Branson et Mehl, P1-элемент, образец 101-3/19, разрез на р. Каменка, верхний фамен; 3 — *Pseudopolygnathus graulichii* Bouckaert et Groessens, P1-элемент, образец 101-5/19, разрез на р. Каменка, верхний фамен. CL-изображения получены при ускоряющем напряжении 20 кВ

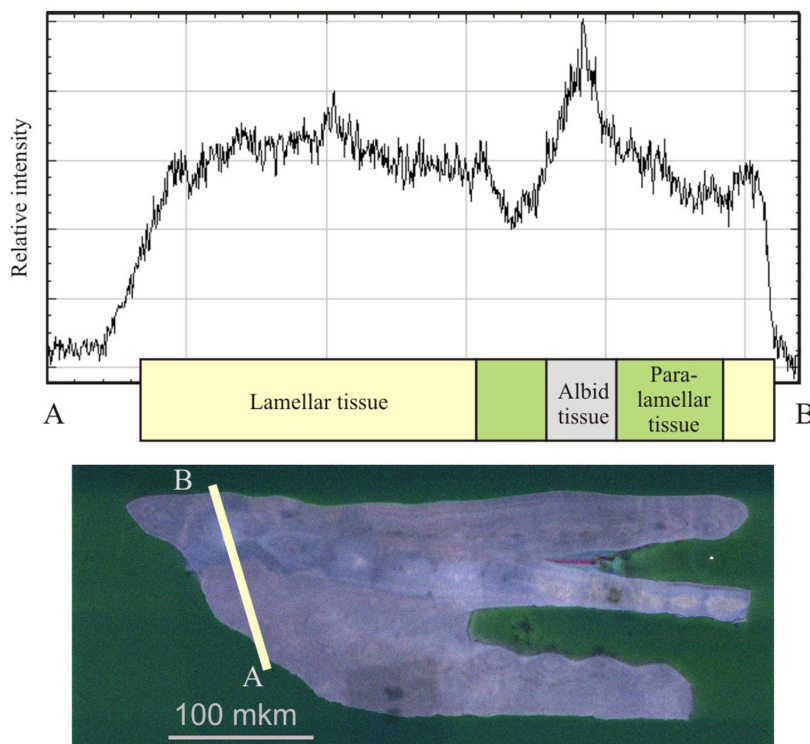


Fig. 4. Relative intensity of CL of different tissues of conodont element. Line A—B marks the position of CL intensity profile on the polished section of the P1 element of *Polygnathus parapetus* Druce (carbonate sample 111A-3/19, the Kamenka River section, lowermost Tournaisian)

Рис. 4. Относительная интенсивность CL различных тканей элемента конодонта. Линия А—В отмечает положение профиля интенсивности CL на полированном срезе P1-элемента *Polygnathus parapetus* Druce (карбонатный образец 111A-3/19, разрез на реке Каменка, нижний турне)

SEM-CL of conodont elements with different CAI and preservation

Conodont elements with different CAI show some variation in CL. Elements with a CAI of 1–1.5 show a more reddish CL compared to elements with a CAI of 5 (fig. 5, A). In general, the intensity of CL decreases in conodont elements with a CAI of 5.

Conodont elements derived from clay have more bluish CL compared to elements of the same preservation derived from limestone (fig. 5, B). Corroded conodont elements from limestone show red CL in the corroded rim (fig. 2.15, b). Unpolished conodont elements show deep blue or blue-violet CL with reddish inclusions caused by surface contamination by the carbonate material (fig. 3.2, b).

Discussion

Several factors are thought to contribute to the CL of conodont elements. Organic matter, Mn and REE appear to be the most likely inducers of conodont CL. The levels of Mn and REE may reflect either the primary composition of conodont elements or secondary element uptake from the host rock.

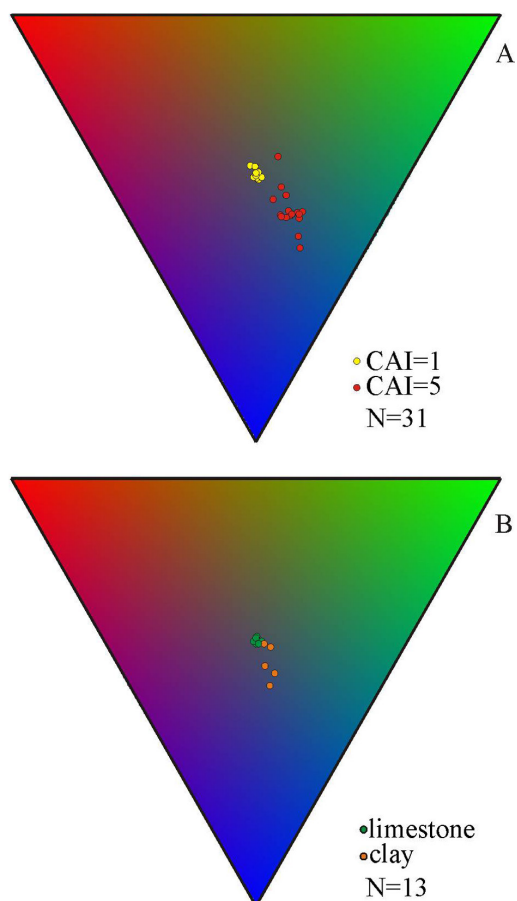


Fig. 5. Colour of cathodoluminescence of conodont elements on RGB diagram. A — CL of conodont elements with different CAI. B — CL of conodont elements from different host rocks (limestone and clay)

Рис. 5. Цвет катодолуминесценции конодонтовых элементов на RGB-диаграмме. А — CL элементов конодонтов с различным ИОК. В — CL элементов конодонтов из разных вмещающих пород (известняк и глина)

Organic molecules, which comprise up to 3% of conodont elements (Zhuravlev, 2023), may make some contribution to CL. Pure hydroxyapatite (HAP) has a grey or reddish CL, but pure collagen has a bluish-green CL (Barnett et al., 1975; Roman-Lopez et al., 2014). In RGB coordinates, the CL of all tissues of unaltered conodont elements is close to that of HAP and different from that of pure collagen (fig. 6). It is therefore reasonable to assume that organic matter contributes very little to the tone of conodont CL.

Ce, Eu, Sm, Mn induce bluish and blue-reddish CL (Richter et al., 2003, p. 154; Kempe & Götze, 2002). This colour of CL is observed in conodont elements derived from clay (figs. 2.9, b and 2.10, b). These conodont elements also show the presence of REE in their apatite. Mn^{2+} induces green to yellow CL (Richter et al., 2003, p. 154). CL is visible at very low Mn^{2+} concentrations ≥ 1 ppm (Habermann et al., 1998), which is below the resolution of EDS (about 1000 ppm). The cumulative effect of Mn^{2+} and REE on the CL of conodont elements probably leads to orange to violet CL of conodont apatite. According to Götze (2012), blue CL emission can also be caused by lattice defects (electron defects on the oxygen of the phosphate group) (see also Habermann et al., 1997). Due to the complex nature of CL, it is difficult to distinguish the contribution of different factors.

The lack of gradient in CL from the outer to the inner part of a conodont element suggests that CL mainly reflects the near-primary composition of the conodont tissues and not only the secondary influx of contaminants from the host rock or ambient water. Conversely, the difference in CL between albid tissue (most resistant to chemical exchange with the environment) and other tissues suggests a significant contribution of external 'contaminants' to the CL of conodont elements.

In the case of corrosion of the conodont element surface in carbonate host rocks, the CL of the surface of the conodont element becomes reddish due to invasion

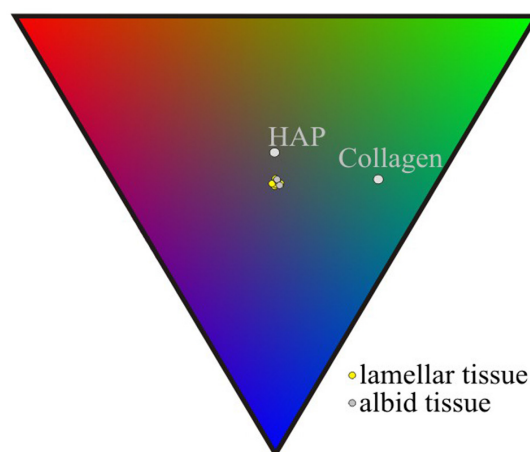


Fig. 6. Colour of cathodoluminescence of different tissues of conodont elements in comparison with pure HAP and collagen on RGB diagram

Рис. 6. Цвет катодолуминесценции различных тканей конодонтовых элементов в сравнении с чистым HAP и коллагеном на RGB-диаграмме



of the carbonate material (figs. 3.1, b and 3.2, b). In general, the CL of unaltered conodont elements is similar to that of unaltered shark teeth (blue), but differs significantly from that of fossil vertebrate teeth (orange-red).

Thus, CL data allow the detection of the results of secondary processes in conodont mineralised tissues, including enrichment by REE and/or Mn, corrosion and contamination by carbonate material. Therefore, CL of conodont elements can be used to screen significantly altered samples prior to chemical and isotopic investigations. For example, conodont elements showing evidence of carbonate incorporation with reddish CL cannot be used for carbon isotopic studies. This assumption is confirmed by the extremely high carbon isotope value of conodont elements showing reddish CL (sample 122-5/16, *Polygnathus parapetus* Druce, $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}} = -22.5\text{‰}$; mean $\delta^{13}\text{C}_{\text{con}}$ value for this species is -26.0‰).

Conclusions

CL allows tissue types to be distinguished on the basis of luminescence intensity and provides information on the histological composition of conodont elements. CL is also a promising tool for screening samples for ecogeochemical studies due to its sensitivity to post-mortem geochemical exchange between conodont elements and host rock. The violet and yellow shifts of CL colour can be used as a proxy for contamination of the conodont bioapatite during catagenesis. The results confirm that albid tissue is less affected by geochemical contamination and probably represents a near-primary composition of conodont elements.

Acknowledgements

The author thanks Viktor Radaev (CCU “Geonauka”, Syktyvkar, Russia) for assistance with SEM, EDS, and SEM-CL, and A.A. Dornan for discussion on conodont ecogeochemistry. Also, author is grateful to DeepL Write for professional proofreading, and to reviewers for valuable suggestions improving the manuscript.

References

Balter V., Martin J. E., Tacail T., Suan G., Renaud S., Girard C. Calcium stable isotopes place Devonian conodonts as first level consumers // *Geochemical Perspectives*. 2019. 10. P. 36–39. DOI: 10.7185/geochemlet.1912

Barnett W. A., Wise M. L. H., & Jones E. C. Cathodoluminescence of biological molecules, macromolecules and cells // *Journal of Microscopy*. 1975. 105(3). P. 299–303. DOI: 10.1111/j.1365-2818.1975.tb04063.x

Götze J. Application of Cathodoluminescence Microscopy and Spectroscopy in Geosciences // *Microscopy and Microanalysis*. 2012. 18. P. 1270–1284. DOI: 10.1017/S1431927612001122

Griffin J. M., Montañez I. P., Glessner J. J. G., Chen J., Willmes M. Geologic variability of conodont strontium isotopic composition quantified by laser ablation multiple collection inductively coupled plasma mass spectrometry // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2021. 568. 110308. DOI: 10.1016/j.palaeo.2021.110308

Habermann D., Götze J., Neuser R. & Richter D. K. The phenomenon of intrinsic cathodoluminescence: Case studies of quartz, calcite and apatite // *Zentralbl. Geol. Paläont.* 1997. 1(10–12). P. 1275–1284.

Habermann D., Neuser R. D., & Richter D. K. Low limit of Mn^{2+} -activated cathodoluminescence of calcite: state of the art // *Sedimentary Geology*. 1998. 116(1–2). P. 13–24. DOI: 10.1016/S0037-0738(97)00118-8

Harris A. G. & Sweet W. C. Mechanical and chemical techniques for separating microfossils from rock, sediment and residue matrix. In: Feldmann R. M., Chapman R. E. & Hannibal J. T. (Eds), *Paleotechniques* // *Paleontol. Soc. Spec. Publ.* 1989. 4. P. 70–86.

Joachimski M. M., Buggisch W. Conodont apatite $\delta^{18}\text{O}$ signatures indicate climate cooling as a trigger of the Late Devonian mass extinction // *Geology*. 2002. 30(8). P. 711–714.

Kempe U. & Götze J. Cathodoluminescence (CL) behavior and crystal chemistry of apatite from rare-metal deposits // *Mineral Magazine*. 2002. 66. P. 135–156.

Kürschner W., Becker R. T., Buhl D., Veizer J. Strontium isotopes in conodonts: Devonian–Carboniferous transition, the northern Rhenish Slate Mountains, Germany // *Ann. Soc. géol. Belg.* 1992. 115 (2). P. 595–621.

Luz, B., Kolodny, Y., Kovach, J. Oxygen isotope variations in phosphate of biogenic apatites, III. Conodonts // *Earth and Planetary Science Letters*. 1984. 69. P. 255–262.

Richter D. K., Gotte T., Götze J., & Neuser R. D. Progress in application of cathodoluminescence (CL) in sedimentary petrology // *Mineralogy and Petrology*. 2003. 79(3–4). P. 127–166. DOI: 10.1007/s00710-003-0237-4

Roman-Lopez J., Correcher V., Garcia-Guinea J., Rivera T., Lozano I. B. Thermal and electron stimulated luminescence of natural bones, commercial hydroxyapatite and collagen // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2014. 120. P. 610–615, DOI: 10.1016/j.saa.2013.10.027

Schneider C. A., Rasband W. S., & Eliceiri K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis // *Nature Methods*. 2012. 9(7). P. 671–675. DOI: 10.1038/nmeth.2089

Ségalen L., de Rafelis M., Lee-Thorp J. A., Maurer A.-F., Renard M. Cathodoluminescence tools provide clues to depositional history in Miocene and Pliocene mammalian teeth // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2008. 266. P. 246–253.

Trotter J. A., Korsch M. J., Nicoll R. S., Whitford D. J. Sr isotopic variation in single conodont elements: implications for defining the Sr seawater curve. In: Sepagli E. (Ed), *Seventh European Conodont Symposium. Studies on Conodonts* // *Bolletino Della Societa Paleontologica Italiana*. 1999. P. 507–514

Trotter J. A. & Eggins S. M. Chemical systematics of conodont apatite determined by laser ablation ICPMS // *Chemical Geology*. 2006. 233. P. 196–216. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2006.03.004

Ulian G., Moro D., Valdrè G. Hydroxylapatite and Related Minerals in Bone and Dental Tissues: Structural, Spectroscopic and Mechanical Properties from a Computational Perspective // *Biomolecules*. 2021. 11(5). 728. DOI: 10.3390/biom11050728

Wierzbowski H. Advances and Challenges in Palaeoenvironmental Studies Based on Oxygen Isotope Composition of Skeletal Carbonates and Phosphates // *Geosciences*. 2021. 11. 419. DOI: 10.3390/geosciences11100419



- Wierzbowski H., Szaniawski H., & Błazejowski B. Structural, chemical and isotope evidence for secondary phosphate mineralization of grasping spines of Early Palaeozoic chaetognaths // *Lethaia*. 2021. 54. P. 245—259. DOI: 10.1111/let.12400
- Zhuravlev A. V. Trophic position of some Late Devonian-Carboniferous (Mississippian) conodonts revealed on carbon organic matter isotope signatures: a case study of the East European basin // *Geodiversitas*. 2020. 42(24). P. 443—453. DOI: 10.5252/geodiversitas2020v42a24
- Zhuravlev A. V. Carbon isotope study of conodont elements: applications and limitations // *Marine Micropaleontology*. 2023. 178. 102200 DOI: 10.1016/j.marmicro.2022.102200
- Zhuravlev A. V. & Shevchuk S. S. Strontium distribution in Upper Devonian conodont elements: a palaeobiological proxy // *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*. 2017. 123(2). P. 203—210. DOI: 10.13130/2039-4942/8311
- Zhuravlev A. V., Plotitsyn A. N. & Gruzdev D. A. Carbon Isotope Ratios in the Apatite-Protein Composites of Conodont Elements — Palaeobiological Proxy. In: Frank-Kamenetskaya O. V., Vlasov D. Y., Panova E. G., Lessovaia S. N. (eds), *Processes and Phenomena on the Boundary between Biogenic and Abiogenic Nature*. Springer, Cham: 2020. P. 749—764. DOI: 10.1007/978-3-030-21614-6_40

Поступила в редакцию / Received 07.04.2023



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 51-7:550.4

DOI:10.19110/geov.2023.7.5

Моделирование нисходящего переноса ^{210}Pb на примере естественного торфяника Иласского болотного массива Европейской Субарктики России: модель IP-CRS

Е. Ю. Яковлев, А. А. Кудрявцева, А. С. Орлов

ФИЦ комплексного изучения Арктики им. Н. П. Лавёрова УрО РАН, Архангельск
evgeny.yakovlev@fciarctic.ru, pieep1@yandex.ru, alseror@yandex.ru

В статье представлены результаты моделирования переноса ^{210}Pb вниз по торфяному керну для естественного болотного массива Иласский. В керне послойно исследованы активности радионуклидов ^{210}Pb и ^{137}Cs . Из-за неэкспоненциального снижения активности ^{210}Pb возможны значительные ошибки в определении возраста и скоростей накопления торфа при применении классических моделей датирования. В статье приведены данные ^{210}Pb -датирования, полученные по модели IP-CRS. Анализ данных показал, что вертикальное распределение ^{137}Cs и ^{210}Pb связано с параметрами торфа: зольностью и насыпной плотностью. Датирование керна по ^{210}Pb показало для глубины 17–19 см возраст 1963-й год, что согласуется с данными ^{137}Cs . Датировку данного горизонта косвенно подтверждают данные зольности и насыпной плотности торфа. Перечисленное подтверждает правильность и адекватность выбранной модели датирования естественного торфяника. Пик содержания антропогенных радионуклидов в торфяных отложениях соответствует 1963-му году — дате подписания Договора о частичном запрещении ядерных испытаний, который является ориентиром для геохронологических исследований. Приведённые в исследовании результаты линейной скорости накопления, скорости накопления массы торфяной залежи и величина атмосферного потока ^{210}Pb хорошо согласуются с данными по торфяникам Северной Европы и Европейской Субарктики России.

Ключевые слова: торфяной керн, скорость торфонакопления, ^{210}Pb , ^{137}Cs , миграция радионуклидов, моделирование IP-CRS, Иласский болотный массив.

Modelling ^{210}Pb downward transport in a natural peatland of Ilassky swamp massif in the European Subarctic of Russia: IP-CRS model

E. U. Yakovlev, A. A. Kudryavtseva, A. S. Orlov

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, UB RAS, Arkhangelsk

The paper presents the results of the modelling of the transport of ^{210}Pb down the peat core for the Ilassky natural bog massif. The activities of radionuclides ^{210}Pb and ^{137}Cs were investigated in the core layer by layer. Due to the nonexponential decrease of ^{210}Pb activity, significant errors are possible in determining the age and accumulation rates of peat when applying classical dating models. The article presents ^{210}Pb dating data obtained using the IP-CRS model. Data analysis showed that the vertical distribution of ^{137}Cs and ^{210}Pb is related to peat parameters: ash content and bulk density. The ^{210}Pb dating of the core showed an age of 1963 for a depth of 17–19 cm, which is consistent with the ^{137}Cs data. The dating of this horizon is indirectly confirmed by the data of the ash content and bulk density of peat. The above mentioned confirms the correctness and adequacy of the chosen model of dating of the natural peat bog. The peak of anthropogenic radionuclide content in peat deposits corresponds to 1963, the date of signing the Partial Nuclear Test Ban Treaty, being a reference point for geochronological studies. The results of linear accumulation rate, peat deposit mass accumulation rate and the magnitude of the atmospheric flux of ^{210}Pb presented in the study are in good agreement with the data on peatlands of Northern Europe and the European Subarctic of Russia.

Keywords: peat core, accumulation rate, ^{210}Pb , ^{137}Cs , radionuclides migration, IP-CRS model, Ilassky swamp massif.

Омбротрофные торфяники являются уникальными экологическими архивами, изучение которых дает ценную информацию для понимания прошлых экологических и климатических событий, что особенно важно в связи с растущим интересом к глобальному изменению климата (Ndiaya et al., 2022; Sun et al., 2020). Дополнительно торфяники содержат данные о нако-

плении широкого спектра атмосферных загрязнителей, таких как тяжелые металлы и органические соединения (Magiera et al., 2021). Отметим, что с началом атомной эры на планете торфяники также стали концентрировать в себе техногенные радионуклиды и изотопы, выброшенные в атмосферу в результате испытаний ядерного оружия и радиационных аварий

Для цитирования: Яковлев Е. Ю., Кудрявцева А. А., Орлов А. С. Моделирование нисходящего переноса ^{210}Pb на примере естественного торфяника Иласского болотного массива Европейской Субарктики России: модель IP-CRS // Вестник геонаук. 2023. 7(343). С. 43–51. DOI: 10.19110/geov.2023.7.5

For citation: Yakovlev E. U., Kudryavtseva A. A., Orlov A. S. Modelling ^{210}Pb downward transport in a natural peatland of Ilassky swamp massif in the European Subarctic of Russia: IP-CRS model. Vestnik of Geosciences, 2023, 7(343), pp. 43–51, doi: 10.19110/geov.2023.7.5

(Fialkiewicz-Koziel et al., 2014). Изучение последних в торфяниках является важнейшим инструментом для понимания хронологии торфа, развития и продуктивности торфяного месторождения во времени, изучения изменений климата и т. д. (Zhao et al., 2021). Основным радионуклидом атмосферных осадков, используемым в качестве изотопного маркера при изучении торфяников, является ^{137}Cs . Однако из-за относительно высокой биодоступности ^{137}Cs постоянно перемещается к растущим побегам сфагнового мха, где и накапливается (Mroz et al., 2017). В связи с этим восстановление точной хронологии торфа с использованием только ^{137}Cs может быть затруднено. В качестве независимого параллельного геохронометра используется естественный радионуклид ^{210}Pb (Fialkiewicz-Koziel et al., 2020). Предполагается, что скорость его поступления на поверхность торфяника относительно постоянна, а миграционная способность ограничена в силу химических свойств. В связи с этим в торфяной залежи, как правило, наблюдается экспоненциальное снижение активности ^{210}Pb вниз по профилю, что даёт достаточно точную и непрерывную хронологическую последовательность торфа. В последние годы в некоторых исследованиях отмечается отклонение от типичного экспоненциального снижения, что приводит к ошибкам в оценке возраста и скорости накопления торфа (Swanek et al., 2021). Возможной причиной увеличения миграции ^{210}Pb является изменение комплекса физико-химических параметров торфяной залежи, которые зависят от конкретных природно-климатических условий местности и, в свою очередь, подлежат оценке. Несмотря на то, что торфяно-болотные экосистемы занимают огромные площади субарктического региона европейской части России, исследования радионуклидов в торфяниках этих территорий ограничены, поэтому, чтобы устранить недостаток знаний в области радиоэкологии торфяных болот для данного региона, нами проведено моделирование нисходящего переноса ^{210}Pb на примере естественного торфяника — болотного массива Иласский.

Методы исследования

Торфяной керн ИСНО-1 ($64^{\circ}18'55.3''\text{N}$ $40^{\circ}41'15.6''\text{E}$) был отобран 12 августа 2020 года в пределах Иласского болотного массива, который является типичным представителем верховых болот северной тайги. Массив расположен в ~20 км к югу от Архангельска. Мощность торфяной залежи в месте отбора проб составляет 2.2 м. Залежь состоит из сфагновых мхов с примесью пушицы с увеличением её доли в нижнем слое керна. Степень деградации торфа увеличивается с глубиной и составляет 5—20 %. Колонка до глубины 49 см была извлечена с помощью ПВХ-трубы и далее разделена в лаборатории на слои по 2 см (исключение — слой 0—3 см) и подготовлена для дальнейших аналитических процедур. Определение физико-химических параметров торфа проводили в лаборатории болотных экосистем, радиохимическую подготовку и измерение проб — в лаборатории экологической радиологии ФИЦ комплексного изучения Арктики им. Н. П. Лавёрова УрО РАН.

Определение зольности торфа

Навеску торфа массой 2—3 г взвешивали на аналитических весах (m_{sample}) DA-224C (BEL ENGINEERING SRL, Италия) с пределом допускаемой погрешности ± 0.5 мг. Навеску помещали в кварцевый тигель, предварительно доведенный до постоянной массы прокаливанием в муфельной печи при 900°C . Далее последовательно прокаливали тигель с пробой торфа при 525 и 900°C до постоянной массы, которую фиксировали на аналитических весах. Расчет потерь при прокаливании (%) проводили по формуле согласно ГОСТ-1988.

Определение насыпной плотности торфа

Насыпную плотность торфа оценивали гравиметрическим методом для воздушно-сухих образцов с фракционным составом 0.5—2 мм. Определение проводили путем измерения объёма образцов с помощью мерного цилиндра с последующей фиксацией их массы на аналитических весах DA-224C в 5 параллельных повторностях для каждой пробы (ГОСТ-1988).

Радиохимическое определение радионуклидов

Определение радионуклида ^{137}Cs проводили с применением низкофонового гамма-спектрометра производства CANBERRA Packard (США) с коаксиальным полупроводниковым детектором GX2018 на основе кристалла Ge(Li) и программным обеспечением Genie-2000. Удельную активность ^{137}Cs определили по линии гамма-излучения 661.66 с квантовым выходом 89.90% , принадлежащей его дочернему радионуклиду — $^{137\text{m}}\text{Ba}$. Минимально измеряемые активности ^{137}Cs при экспозиции $t = 18\,000$ с для геометрии «плоский сосуд» объёмом 0.1 литр составили 0.1 Бк (Рекомендация МВИ, 2010).

Для определения ^{210}Pb образец торфа обрабатывали согласно методике (Бахур и др., 2013). Полученный счётный образец с радионуклидами ^{210}Po и ^{210}Pb измеряют через 10 часов после его приготовления для распада дочерних альфа- и бета-излучателей ($^{212,214,216,218}\text{Po}$; ^{210}Bi и ^{210}Bi) на альфа-бета-радиометре «Абелия».

Результаты и обсуждения

Процедура датирования

При ^{210}Pb -датировании нами использовалась модель IP-CRS (Initial Penetration — Constant Rate of Supply), для расчёта которой мы следовали процедуре, подробно изложенной у авторов (Olid, 2016). Эта двухэтапная модель описывает распределение атмосферного ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$) в торфе, учитывая как поступление ^{210}Pb в накапливающуюся торфяную матрицу, так и первоначальную миграцию ^{210}Pb через самые верхние слои торфа вниз. Чтобы описать распределение атмосферного ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$) в профиле торфа ИСНО, мы разделили торфяную колонку на n слоев, представленных расстоянием z (см) сверху вниз. Каждый слой простирается от глубины z_{i-1} до глубины z_i (табл. 1).

В модели IP-CRS, которая является модификацией модели CRS, распределение объёмной активности $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (Бк/см³) описывается терминном смешивания, который включает опадание подстилки, биотурбацию и криотурбацию внутри акротельма. Предполагается

Таблица 1. Результаты моделирования и датирования по методу IP-CRS для керна ИСНО
Table 1. IP-CRS modelling and dating results for ISNO core

Слой (см) Layer (cm)	Глубина (см) Depth (cm)	Плотность (г·см ⁻³) Bulk Density (g·cm ⁻³)	210Pb исходный (Бк·кг ⁻¹) 210Pb Original (Bk·kg ⁻¹)	210Pb скорректированный 210Pb corrected		D (см ⁻³ ·год ⁻¹) (cm ⁻³ ·year ⁻¹)	w (см·год ⁻¹) (cm·year ⁻¹)	r _i (год ⁻¹) (year ⁻¹)	f _i	Даты из исходных 10Pb, модель CRS (годы) Dates from original 210Pb, model CRS (years)	Даты из скорректированных 210Pb, модель IP-CRS (годы) Dates from corrected 210Pb, model IP-CRS (years)
				(Бк·м ⁻²) (Bk·m ⁻²)	(Бк·кг ⁻¹) (Bk·kg ⁻¹)						
0–3	3	0.0448	310.75 ± 34.18	411.0 ± 45.12	305.6 ± 33.60	0.100	0.288	0.100		2021	2021
3–5	2	0.0345	211.16 ± 50.68	228.0 ± 54.72	330.6 ± 79.34					2014	2012
5–7	2	0.0505	168.39 ± 21.89	190.0 ± 24.70	188.1 ± 24.45			0.100		2011	2006
7–9	2	0.0387	155.35 ± 35.73	158.0 ± 36.34	204.3 ± 46.98					2008	2000
9–11	2	0.0594	168.49 ± 21.90	132.0 ± 15.84	111.1 ± 13.33			0.100		2005	1994
11–13	2	0.0400	158.02 ± 20.54	110.0 ± 14.30	137.5 ± 17.87					2000	1988
13–15	2	0.0475	155.02 ± 26.35	92.0 ± 26.35	96.8 ± 22.26			0.100		1996	1982
15–17	2	0.0519	131.06 ± 20.97	76.0 ± 20.96	73.2 ± 11.71			0.100		1991	1976
17–19	2	0.0473	180.80 ± 20.32	64.0 ± 11.23	67.6 ± 11.49			0.100		1986	1970
19–21	2	0.0458	243.93 ± 73.18	54.0 ± 21.6	58.9 ± 17.67			0.100		1978	1964
21–23	2	0.0430	72.20 ± 28.88	44.0 ± 17.6	51.1 ± 20.44				0.173	1962	1958
23–25	2	0.0374	77.89 ± 38.94	38.0 ± 19.0	50.8 ± 25.40				0.162	1956	1951
25–27	2	0.0327	44.42 ± 26.65	30.0 ± 18.0	45.8 ± 27.48				0.081	1949	1945
27–29	2	0.0344	34.34 ± 13.74	26.0 ± 10.4	37.7 ± 15.08				0.066	1945	1938
29–31	2	0.0460	26.54 ± 15.92	11.0 ± 6.6	23.9 ± 14.34				0.068	1941	1932
31–33	2	0.0409	28.80 ± 11.52	18.0 ± 10.8	21.9 ± 13.14				0.065	1937	1924

постоянный коэффициент диффузии и непрерывное перемешивание в керне. Кроме того, учитываются вариации объёмной активности $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ в зависимости от скорости аккреции и её мигрирование вниз и перераспределение на глубине. Авторы аргументируют рассмотрение только начальной подвижности $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ из-за переноса жидкости тем, что Pb образует прочные комплексы с органическим веществом и переносится таким же образом, как и нерастворимые частицы после сорбции органическим веществом почвы. Наконец, учитываются также потери $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ при радиоактивном распаде (λ) (Olid et al., 2016).

Ключевым моментом в модели IP-CRS является то, что количество $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$, которое было перемещено в объёме торфа, может быть оценено. Далее уже возможно применить модель CRS к скорректированному распределению $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$. Подробнее метод датирования и его валидность описаны у авторов (Olid et al., 2016).

Для расчёта хронологии IP-CRS мы выполнили следующие этапы:

Этап А. Ограничение глубины вымываемого отдела (z_k) торфяного разреза

Вертикальную миграцию $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ в профиле ИСНО количественно оценили, разделив его на две зоны. Зона вымывания от поверхности до глубины z_k составила 20 см, здесь $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ мигрировал вниз, что моделируется предположением разных скоростей проникновения (r_i) для каждого слоя. Толщина верхней вымываемой зоны варьируется и состоит из живых мхов и самых верхних слоев акротельма, который характеризуется высокой пористостью и гидравлической проводимостью, что способствует смыву вниз атмосферных отложений. Зона вмывания (накопления) — совокупный отдел от z_k до ∞ (для керна ИСНО составила от 20 до 33 см), где слои торфа получали дополнительный запас $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ из самых верхних слоёв. Здесь слои акротельма имеют более высокую плотность и меньшую пористость. Уменьшение гидравлической проводимости, вероятно, приводит к образованию слоя, в котором накапливается вынесенный $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$. Нижняя граница зоны соответствует самой большой глубине с обнаруживаемой активностью ^{210}Pb (Olid et al., 2016).

Этап В. Решение системы интегродифференциальных уравнений

Решили систему n интегродифференциальных уравнений (уравнения (1) и (2)) по разрезу торфа, выполнили соблюдение ограничивающих условий (уравнения (3) и (4)) и ограничений непрерывности между слоями (уравнения (5) и (6)) для получения скоростей проникновения (r_i) и дробных коэффициентов усиления (f_i). Здесь модель была реализована в программе Matlab. Вывод формул и расчёты подробнее указаны в дополнительных материалах к статье авторов (Olid et al., 2016).

Решения уравнений:

От 0 до z_k :

$$C_i(z) = A_i e^{\theta+(i)z} + B_i e^{\theta-(i)z}, \quad (1)$$

где $i = 1, 2, \dots, k$.

От z_k до ∞ :

$$C_i(z) = A_i e^{\sigma+z} + B_i e^{\sigma-z} + \frac{F_i}{\lambda}, \quad (2)$$

где $i = k + 1, k + 2, \dots, n$.

Константы A_i и B_i определяются итеративно путем решения ограничивающих условий:

$$D \frac{dC_i}{dz}(0) - wC_i(t, 0) = -\Phi, \text{ и} \quad (3)$$

$$C_n(t, z \rightarrow \infty) = 0, \quad (4)$$

где Φ — атмосферное поступление ^{210}Pb (Бк/м²·год) ($\Phi = \lambda \cdot I$, где I — общий запас $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (Бк/м²)), а ограничения непрерывности между слоями следующие:

$$C_i(t, z_i) = C_{i+1}(t, z_i) \text{ и} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} D \frac{\partial C_i}{\partial z}(z_i) - wC_i(z_i) = \\ = D \frac{\partial C_{i+1}}{\partial z}(z_i) - wC_{i+1}(z_i) \end{aligned} \quad (6)$$

Этап С. Определение запаса $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$, удаленного из каждого слоя зоны вымывания

После решения системы n оценивали запас $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (Бк/м²), мигрировавшего из каждого слоя верхнего отдела согласно уравнению:

$$\begin{aligned} R_i &= \int_0^{T_i} r_i A_i(t) dt = \\ &= \frac{r_i \Phi}{\lambda + r_i} \left[T_i + \frac{1}{\lambda + r_i} (e^{-(\lambda + r_i)T_i} - 1) \right], \end{aligned} \quad (7)$$

где T_i — время образования этого слоя.

Этап D. Определение общего запаса $^{10}\text{Pb}_{\text{xs}}$

Количественно определили общий запас $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$, перенесенного вниз, суммируя $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$, полученный на предыдущем этапе.

Этап E. Определение дополнительного $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ для каждого слоя

Количественно оценили запас $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$, включенного в качестве дополнительного источника в каждый слой, умножив общее удаленное количество $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ на соответствующее дробное усиление f_i .

Этап F. Определение исправленных объёмных активностей $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$

1. Добавили объёмные активности $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$, полученные на этапе С, в соответствующие слои промываемой зоны; 2. Вычли объёмные активности $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$, полученные на этапе Е, из соответствующих слоёв более глубокой зоны.

Этап G. Применение модели к исправленному профилю

Применили CRS-модель к скорректированному профилю объёмной активности $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ и дополнительно использовали метод Монте-Карло, подробно описанный в работах коллектива авторов (Sanchez-Cabeza et al., 2014; Яковлев и др., 2020).



Физико-химические параметры торфа

Величина показателя зольности для профиля ИСНО находится в интервале 1.10–5.77 %, что позволяет отнести его к малозольному типу (рис. 1). В вертикальном распределении в горизонте 20 см отмечается максимум содержания зольных компонентов, который может быть обусловлен как вымыванием минеральной части из вышележащих горизонтов, так и антропогенной запыленностью атмосферы в период формирования торфяной залежи. Ниже глубины 21 см наблюдается тенденция немонотонного снижения показателей с глубиной, связанная с атмосферным типом питания болота.

Согласно полученным результатам, насыпная плотность постепенно увеличивается с глубиной залегания и находится в интервале $0.075 \div 0.109$ г/см³, что характерно для верховых торфяников в ненарушенном состоянии. Естественное влагосодержание находится в интервале $15 \div 24$ г/г и снижается с глубиной, что отчасти является следствием постепенного уплотнения пористой структуры торфа.

Вертикальное распределение радионуклидов в торфяном профиле

Активность ¹³⁷Cs в торфяном профиле ИСНО-1 варьирует в пределах от 3.2 до 45.6 Бк/кг. Согласно графику вертикального распределения (рис. 2), отмечается два выраженных пика активности ¹³⁷Cs: первый пик с активностью 45.5 Бк/кг находится на глубине 19–21 см, второй пик с активностью 45.6 Бк/кг — на глубине 3–5 см. Отметим также высокие показатели ¹³⁷Cs, которые составили 43.4 Бк/кг на глубине 17–19 см. Можно предположить миграцию радионуклида вниз по керну. В целом наибольшее распределение ¹³⁷Cs в верхней части керна является типичным для верховых болот (Mroz et al., 2017).

Максимум активности ¹³⁷Cs здесь связан отчасти с химическим сродством между Cs и K, которые совместно активно транспортируются по торфяному разрезу корнями растений. Другой причиной высокой подвижности ¹³⁷Cs в верховых торфяниках указывается отсутствие подходящих минеральных частиц для адсорбции ¹³⁷Cs (Fialkiewicz-Koziel et al., 2014). Однако мы наблюдаем помимо пика активности ¹³⁷Cs в верхней части профиля сопоставимую активность на глубине от 17 до 21 см (45.6 Бк/кг в верхней части профиля, 43.4 Бк/кг на глубине 17–19 см и 45.5 Бк/кг на глубине 19–21 см соответственно). Схожая картина изменения активности цезия и содержания золы по глубине (рис. 1, 2), вероятно, связана с механизмом их поступления в торф с атмосферными осадками. Как можно видеть на рис. 2, максимальная глубина усваивания цезия растительностью составляет 11 см для исследуемого профиля, поскольку ниже, на глубине 19–21 см, мы наблюдаем пик активности, превышающий по значению максимальные верхние показания и обусловленный, вероятно, глобальными выпадениями.

Активность ²¹⁰Pb в изученном торфяном профиле варьирует от 21.9 до 330.6 Бк/кг. Максимум активности ²¹⁰Pb приходится на горизонт 3–5 см (рис. 2). Ниже горизонта 35–37 см активность ²¹⁰Pb перестает изменяться и составляет во всех нижележащих горизонтах ~ 26 Бк/кг, т.к. здесь отсутствует избыточный атмосферный свинец. Наблюдаемая активность ²¹⁰Pb

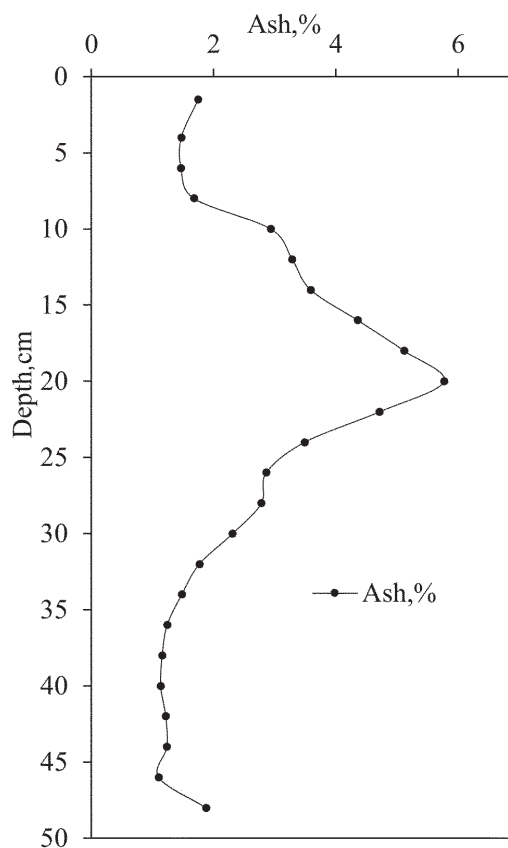


Рис. 1. Изменение показателя зольности для керна ИСНО с глубиной

Fig. 1. Change in the ash index for ISNO core with depth

в этих горизонтах является поддерживаемой за счет распада ²²⁶Ra. Вымывание ²¹⁰Pb из верхних слоёв (0–3 см), вероятно, связано с атмосферными осадками (Olid et al., 2016).

Миграция ²¹⁰Pb вниз по торфяному профилю происходит в коллоидной форме в виде комплексов с гумусовыми кислотами (фульво- и гуминовыми кислотами) и в ионной форме. Миграция ¹³⁷Cs вниз по разрезу происходит только в ионной форме, а связывание ¹³⁷Cs практически полностью обеспечивается ионно-обменным механизмом (Schleich et al., 2000).

Хронология и скорость накопления торфа

Результаты моделирования и датирования торфяного профиля ИСНО-1 представлены на рис. 3. и в табл. 1. Данные показали, что горизонт 17–19 см соответствует возрасту 1963-го года. Выделяемый пик активности ¹³⁷Cs попадает на горизонт 19–21 см, это также совпадает с пиком показателя зольности. Как правило, пики антропогенных радионуклидов в торфяных отложениях указывают на конкретные масштабные события в истории радиоактивных выпадений, такие как Договор о частичном запрещении ядерных испытаний 1963 года и авария на Чернобыльской АЭС, обеспечивая ориентир для геохронологических исследований (Mroz et al., 2017; Putyrskaya et al., 2019). Однако ¹³⁷Cs в связи с его высокой биодоступностью и, как следствие, миграцией в торфяных отложениях не всегда указывает на радиационные события в профиле торфа (Fialkiewicz-Koziel et al., 2014).

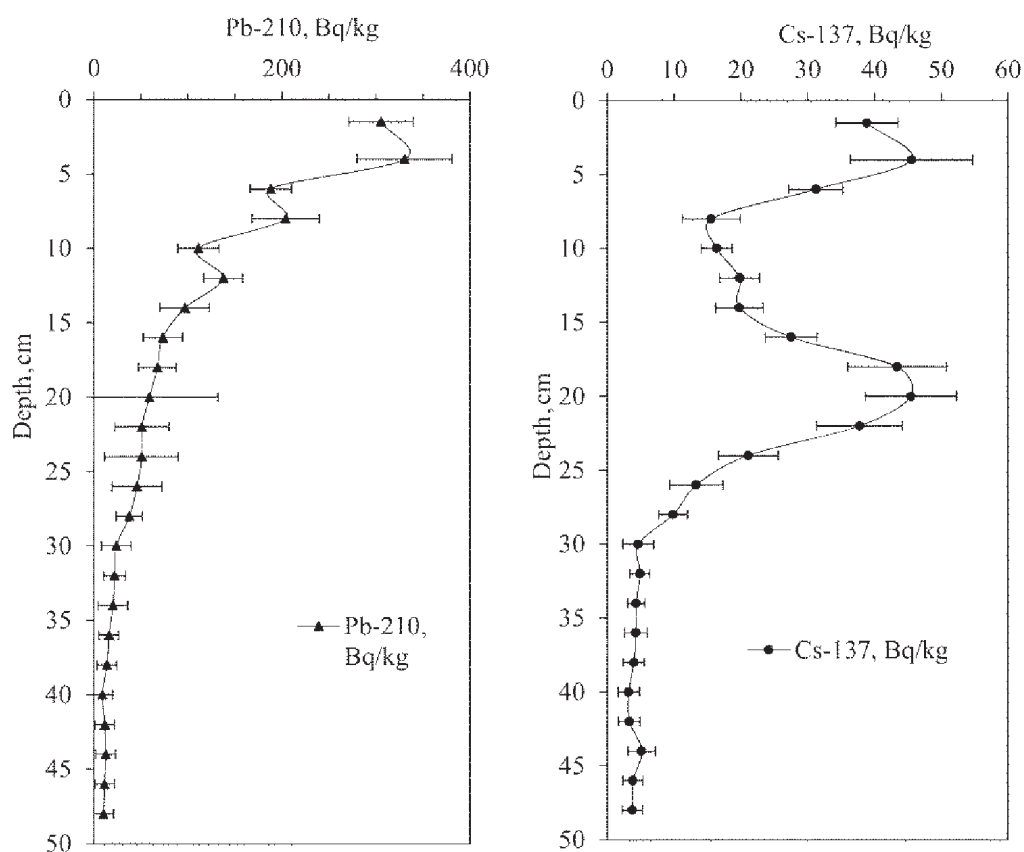


Рис. 2. Изменение вертикального распределения радионуклидов ^{137}Cs и ^{210}Pb в торфяном профиле ИСНО
Fig. 2. Changes in the vertical distribution of ^{137}Cs and ^{210}Pb radionuclides in ISNO peat profile

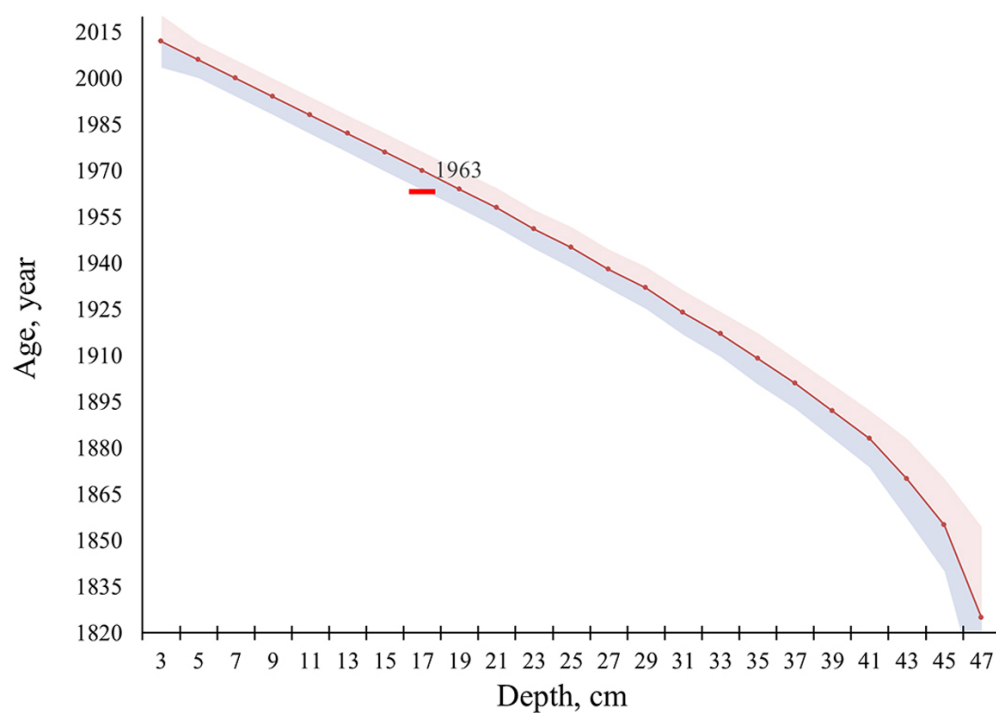


Рис. 3. Результаты хронологии ^{210}Pb для торфяного керна ИСНО согласно модели IP-CRS с дополнительным использованием метода Монте-Карло
Fig. 3. ^{210}Pb chronology results for the ISNO peat core according to IP-CRS model with additional use of the Monte Carlo method

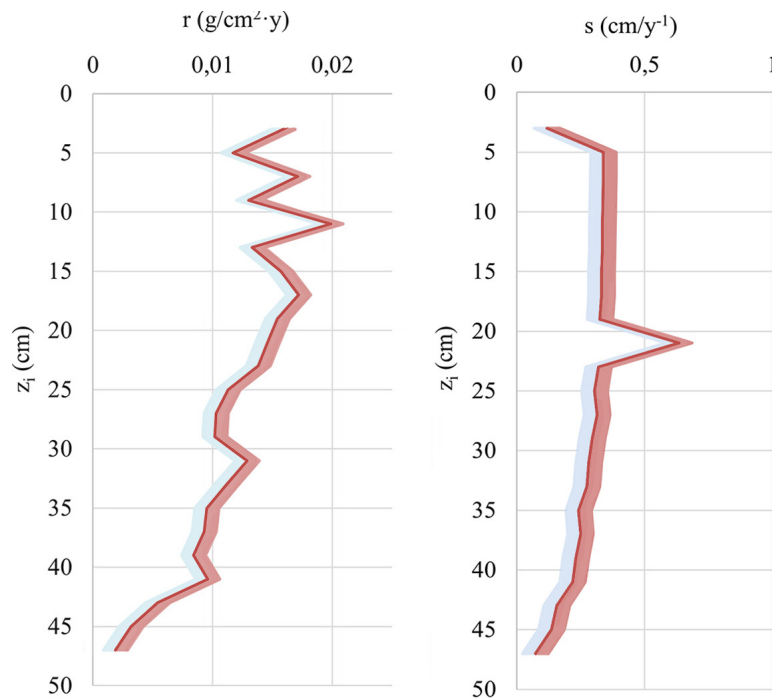


Рис. 4. Линейная скорость накопления s и скорость накопления массы r по глубине торфяного профиля

Fig. 4. Linear accumulation rate s and mass accumulation rate r along the depth of the peat profile

В нашем случае физико-химические условия торфяного профиля способствовали вымыванию до глубины 19–21 см части ^{137}Cs , поступившего на поверхность торфяника в результате глобальных выпадений 1963 года. Полученные данные подтверждают правильность и адекватность выбранной нами модели датирования торфяного керна.

Результаты расчёта линейной скорости накопления s и скорости накопления массы r в изученной торфяной залежи представлены на рис. 4. Значения s варьировались от (0.073 ± 0.05) до (0.635 ± 0.05) см/год и составляли в среднем (0.28 ± 0.08) см/год, что несколько ниже ранее полученных данных для Европейской Субарктики России (Yakovlev et al., 2021) и ниже значений, указанных в работе Swaneek et al. (2021), где последние составили (0.38 ± 0.07) см/год. Скорость накопления массы торфа r находилась в диапазоне от (0.0019 ± 0.001) до (0.0199 ± 0.001) г/см²-год. Среднее значение r составило (0.0117 ± 0.001) г/см²-год.

В вертикальном распределении линейной скорости накопления s отмечается равномерное уменьшение с глубиной с выраженным пиком на глубине 19–21 см, что датируется 1964 годом и, возможно, объясняется изменением климатических условий произрастания торфа.

Картина распределения скорости накопления массы r имеет сложный характер с несколькими пиками в верхней части профиля и закономерным уменьшением с глубиной, поскольку там происходит уплотнение торфяной залежи.

Основываясь на датировании ^{210}Pb , нами был оценен атмосферный поток ^{210}Pb (58.98 ± 2.94) Бк/м²-год, который хорошо согласуется с данными по торфяникам Северной Европы. Атмосферный поток ^{210}Pb для юга Финляндии составил 50–80 Бк/м²-год (Paatero et al., 1998), в то же время значение ^{210}Pb для центральной Швеции составило 78 Бк/м²-год (Vassma et al., 2017). Дополнительно отметим, что полученные нами ранее

данные находились в пределах 80–91 Бк/м²-год для Европейской Субарктики России (Yakovlev et al., 2021).

Заключение

Исследуемая часть профиля торфяной залежи сложена преимущественно сфагновым видом торфа. Физико-химические параметры изученной торфяной залежи находятся в интервалах, типичных для ненарушенных верховых торфяников Европейской Субарктики России. Установлено, что в разрезе выделяется горизонт на глубине 20 см, характеризующийся существенными колебаниями параметров зольности и насыпной плотности. Формирование этого горизонта может быть обусловлено как вымыванием минеральной части из вышележащих горизонтов, так и антропогенной запыленностью атмосферы в период формирования торфяной залежи.

Распределение ^{137}Cs по глубине обнаруживает два выделяющихся максимума активности — в верхней части профиля и на глубине 19–21 см, обусловленных особенностями вертикальной миграции и динамикой поступления цезия с атмосферными выпадениями.

Для распределения ^{210}Pb выявлено неэкспоненциальное снижение активности с глубиной. Наблюдаемое отклонение от типичного снижения ^{210}Pb может приводить к серьёзным ошибкам в оценке возраста и скорости накопления торфа при датировании торфа классическими моделями, поэтому была использована разновидность моделирования CRS — IP-CRS, которая учитывает нисходящий перенос ^{210}Pb в кернах. Моделирование проведено на примере керна из естественного торфяника Иласского болотного массива Европейской Субарктики России.

Результаты датирования торфяного профиля моделью IP-CRS показали, что горизонт 17–19 см соответствует возрасту 1963-го года. Ориентиром для гео-

хронологических исследований выступило подписание Договора о частичном запрещении ядерных испытаний в 1963 году. В то же время отметим, что пик активности ^{137}Cs и максимум показателя зольности попадает на горизонт 19–21 см. В данном случае имеет место миграция ^{137}Cs вниз по керну, т. к. его особенность — это высокая биодоступность в торфяных отложениях, поэтому он не всегда может указывать на радиационные события. Тем не менее результаты подтверждают правильность и адекватность выбранной нами модели датирования торфяного керна.

Результаты исследования позволяют расширить представления о миграционных процессах радионуклидов атмосферных выпадений в торфяниках Европейской Субарктики, что может послужить базисом для поддержания устойчивой экологической обстановки при освоении и использовании ресурсного потенциала торфяно-болотных экосистем.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых МК-4298.2022.1.5 и научного проекта молодых ученых ФИЦ КИА им. Н. П. Лавёрова УрО РАН, посвященного десятилетию науки и техники в Российской Федерации №123050500019-0.

Литература / References

- Бахур А. Е., Мануилова Л. И., Зуев Д. М., Овсянникова Т. М., Трухина Т. П. Методика измерений удельной активности полония-210 (^{210}Po) и свинца-210 (^{210}Pb) в пробах почв, грунтов, донных отложений, горных пород и строительных материалов на их основе альфа-бета-радиометрическим методом с радиохимической подготовкой: Методика: ФР.1.40.2013.15381. М.: ВИМС, 2013. 17 с.
- Bahur, A. E.; Manuilova, L. I.; Zueva, D. M.; Ovsyannikova, T. M.; Trukhina, T. *Metodika izmerenij udel'noj aktivnosti poloniya-210 (^{210}Po) i svince-210 (^{210}Pb) v probah pochv, gruntov, donnyh otlozhenij, gornyh porod i stroitel'nyh materialov na ih osnove al'fa-beta-radiometricheskim metodom s radiohimicheskoy podgotovkoj* (The method for measuring the specific activity of Polonium-210 (^{210}Po) and Lead-210 (^{210}Pb) in samples of soils, soils, bottom sediments, rocks and building materials based on them by radiometric method with radiochemical preparation). Moscow: VIMS, 2013, 17 p.
- ГОСТ 27784-88. Почвы. Методы определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв. М.: Изд-во стандартов, 1988. 7 с.
- GOST 27784-88. Soils. *Pochvy. Metody opredeleniya zol'nosti torfyanyh i otorfovannyh gorizontov pochv* (Methods for determination of ash content in peat and peat-containing soil horizons). 1988. Moscow: Standards publishing house, 1988, p. 7.
- ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. М.: Стандартинформ, 1989. 8 с.
- GOST 28268-89. *Pochvy. Metody opredeleniya vlazhnosti, maksimal'noj gigroskopicheskoy vlazhnosti i vlazhnosti ustojchivogo zavyadaniya rastenij* (Soils. Methods of determination of moisture, maximum hygroscopic moisture and moisture of steady plant fading). Moscow: Standartinform: 1989, p. 8.
- Рекомендация МВИ. МН 3421-2010. Методика выполнения измерений объемной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов на гамма-спектрометрах с полупроводниковыми детекторами. Минск: Изд-во Белорусского гос. ин-та метрологии, БелГИМ, 2010.
- Recommendation MVI. MN 3421-2010. *Metodika vypolneniya izmerenij ob'emnoj i udel'noj aktivnosti gamma-izluchayushchih radionuklidov na gamma-spektrometrah s poluprovodnikovymi detektorami* (MVI Recommendation Method for performing measurements on a gamma spectrometer). Minsk: BelGIM, 2010.
- Яковлев Е. Ю., Очеретенко А. А., Спиров Р. К., Мищенко Е. В., Жуковская Е. В. Применение метода моделирования по типу Монте-Карло для оценки погрешностей ^{210}Pb -датирования торфяных отложений Европейской Субарктики России (на примере Архангельской области) // Вестник геонаук. 2020. № 7. С. 18–27. DOI:10.19110/geov.2020.7.3
- Yakovlev, E. U.; Ocheretenko, A. A.; Spirov, R. K.; Mishchenko, E. V.; Zhukovskaya, E. V. *Primenenie metoda modelirovaniya po tipu Monte-Karlo dlya ocenki pogreshnostej ^{210}Pb -datirovaniya torfyanyh otlozhenij evropejskoj subarktiki Rossii (na primere Arhangel'skoj oblasti)* (Application of Monte Carlo modelling to estimate ^{210}Pb dating errors in peat deposits of the European subarctic of Russia (case study of the Arkhangelsk region)). Vestnik of Geosciences, 2020, No. 7, pp. 18–27, DOI:10.19110/geov.2020.7.3
- Cwanek A., Łokas E., Mitchell E. A. D., Mazei Y., Gaca P., Milton J. A. Temporal variability of Pu signatures in a ^{210}Pb -dated Sphagnum peat profile from the Northern Ural, Russian Federation // Chemosphere, 2021. No. 281. P. 130962. DOI:10.1016/j.chemosphere.2021.130962
- Fialkiewicz-Kozielec B., Kolaczek P., Piotrowska N., Michczyński A., Łokas E., Wachniew P., Woszczyk M., Sensula B. High-resolution age-depth model of a peat bog in Poland as an important basis for paleoenvironmental studies // Radiocarbon, 2014. No. 56, P. 109–125. DOI:10.2458/56.16467
- Fialkiewicz-Kozielec B., Łokas E., Galka M., Kolaczek P., De Vleeschouwer F., Le Roux G., Smieja-Krol B. Influence of transboundary transport of trace elements on mountain peat geochemistry (Sudetes, Central Europe) // Quaternary Science Reviews, 2020. No. 230, P. 106162. DOI: 10.1016/j.quascirev.2020.106162
- Magiera T., Szuszkiewicz M. M., Michczyński A., Chróst L., Szuszkiewicz M. Peat bogs as archives of local ore mining and smelting activities over the centuries: A case study of Miasteczko Śląskie (Upper Silesia, Poland) // CATENA, 2021. No. 198, P. 105063. DOI: 10.1016/j.catena.2020.105063
- Mroz T., Łokas E., Kocurek J., Gasiorek M. Atmospheric fallout radionuclides in peatland from Southern Poland // Journal of Environmental Radioactivity, 2017. No. 175–176, P. 25–33. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2017.04.012
- Ndiaye A., Bentaleb I., Favier C., Fourel F., Sebag D., Fall M., Giresse P., Diouf B. Reconstruction of the holocene climate and environmental changes of Niayes peat bog in northern coast of Senegal (NW Africa) based on stable isotopes and charcoal analysis. Quaternary Science Reviews, 2022. No. 289, P. 107609. DOI: 10.1016/j.quascirev.2022.107609
- Olid C., Diego D., Garcia-Orellana J., Cortizas A. M., Klaminder J. Modeling the downward transport of ^{210}Pb in Peatlands:



- Initial Penetration-Constant Rate of Supply (IP-CRS) model // Science of The Total Environment, 2016. No. 541. P. 1222–1231. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.09.131
- Paatero J., Jaakkola T., Kulmala S. Lichen (sp. Cladonia) as a deposition indicator for transuranium elements investigated with the Chernobyl fallout // Journal of Environmental Radioactivity, 1998. No. 38. P. 223–247. DOI: 10.1016/S0265-931X(97)00024-6
- Putyrskaya V., Klemm E., Röhl S., Corcho-Alvarado J., Sahli H. Dating of recent sediments from Lago Maggiore and Lago di Lugano (Switzerland/Italy) using ^{137}Cs and ^{210}Pb // Journal of Environmental Radioactivity, 2020. No. 212. P. 106135. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2019.106135
- Sanchez-Cabeza J. A., Ruiz-Fernandez A. N., Ontiveros-Cuadras J. F., Perez Bernal L. H., Olid C. Monte Carlo uncertainty calculation of ^{210}Pb chronologies and accumulation rates of sediments and peat bogs // Quaternary Geochronology, 2014. No. 23. P. 80–93. DOI: 10.1016/j.quageo.2014.06.002
- Schleich B. N., Degering D., Unterricker S. Natural and artificial radionuclides in forest and bog soils: Tracers for migration processes and soil development // Radiochimica Acta, 2000. No. 88. P. 803–808. DOI: 10.1524/ract.2000.88.9-11.803
- Sun A., Yang Y., Wu H., Ran M. Climate change on the north-eastern Tibetan Plateau during the past ~600 years inferred from peat pollen records // Review of Palaeobotany and Palynology, 2020. No. 276, P. 104194. DOI: 10.1016/j.revpalbo.2020.104194
- Vaasma T., Karu H., Kiisk M., Pensa M., Isakar K., Realo E., Alliksaar T., Traczyk H. A. Pb-210 and fly ash particles in ombrotrophic peat bogs as indicators of industrial emissions // Journal of Environmental Radioactivity, 2017. No. 174. P. 78–86. DOI:10.1016/j.jenvrad.2016.07.027
- Yakovlev E., Spirov R., Druzhinin S., Ocheretenko A., Druzhinina A., Mishchenko E., Zhukovskaya E. Atmospheric fallout of radionuclides in peat bogs in the Western Segment of the Russian Arctic // Environmental Science and Pollution Research, 2021, without a number. P. 1–11. DOI: 10.1007/s11356-020-12224-7
- Zhao X., Hou X., Zhang D., Yang Y., Huang Z., Liu Q. Records of iodine isotopes (^{129}I , ^{127}I) in the Barkol peat bog from northwest China and their sources, transport and preservation // Chemosphere, 2021. No. 279, P. 130531. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.130531

Поступила в редакцию / Received 19.05.2023

Произведения живописи

в стенах Института геологии*

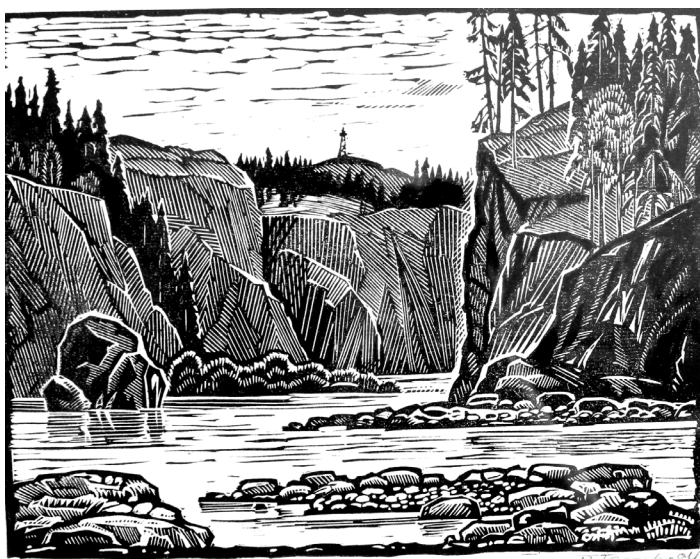
Paintings within the walls of the Institute of Geology*



Добряков Сергей Алексеевич. Над Полярным Уралом. Холст, масло
Dobryakov Sergey Alekseevich. Over the Polar Urals. Canvas, oil

Краев Вадим Игнатьевич (1930–1995). График, живописец. Член Союза художников СССР (1967), народный художник РК (1993). Учился на живописно-педагогическом отделении Уральского художественного училища прикладного искусства (Нижний Тагил).

Kraev Vadim Ignatievich (1930–1995). Graphic artist, painter. Member of the Union of Artists of the USSR (1967). People's Artist of the Komi Republic (1993). He studied at the painting and pedagogical department of the Ural Art School of Applied Arts (Nizhny Tagil)



Краев Вадим Игнатьевич. Каменные створы. 1984.
Графика. Бумага, тушь.

Kraev Vadim Ignatievich. Stone gates. 1984.
Drawing. Paper, ink.



Краев Вадим Игнатьевич. Вычегодские стражи. 1979. Графика. Бумага, тушь.

Kraev Vadim Ignatievich. Vychegda guards. 1979.
Drawing. Paper, ink.

Добряков Сергей Алексеевич (1925–1989). Заслуженный деятель искусств Коми АССР (1961), член Союза художников СССР (1958). Профессионального художественного образования не получил. Живописец, художник монументально-декоративного и прикладного искусства. В истории изобразительного искусства Коми Добряков – единственный художник, кто работал в технике мозаики. С его именем связано также возникновение и развитие искусства гобелена, выполненного в технике ручного ткачества. Сергей Алексеевич Добряков является автором монументальных панно на торцах жилых зданий по ул. Коммунистической г. Сыктывкара и мозаики на фасаде Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Dobryakov Sergey Alekseevich (1925–1989). Honored Artist of the Komi ASSR (1961), member of the Union of Artists of the USSR (1958). He did not receive professional art education. Painter, artist of monumental-decorative and applied art. In the history of fine arts of the Komi Republic Dobryakov is the only artist who worked in the mosaic technique. The emergence and development of the art of tapestry, made in the technique of hand weaving, is also associated with his name. Sergey Alekseevich Dobryakov is the author of monumental panels on the facades of residential buildings on the Kommunisticheskaya street of Syktyvkar and mosaics on the facade of the Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.



Васильева Татьяна Васильевна. Бумага, пастель.
(картина без названия)

Vasilyeva Tatyana Vasilievna. Paper, pastel
(picture is untitled)



Васильева Татьяна Васильевна.
Бумага, пастель (картина без названия)

Vasilyeva Tatyana Vasilievna.
Paper, pastel (picture is untitled)



Нейшпапа Евгений Степанович.
Весеннее половодье. 2000. Картон, масло
Neishpapa Evgeny Stepanovich.
Spring flood. 2000. Cardboard, oil

Нейшпапа Евгений Степанович (1938–2005).

Работал в жанре пейзажа. Год проучился в Ленинградской академии художеств. Окончил Московский архитектурный институт по специальности «архитектура».

Neishpapa Evgeny Stepanovich (1938–2005). As an artist he worked in the genre of landscape. He studied for a year at the Leningrad Academy of Arts. Graduated from the Moscow Architectural Institute with a degree in Architecture.



Шадрин Евгений Леонидович.

Центральная часть триптиха.

Последний луч. 1997.

Картон, темпера

Shadrin Evgeny Leonidovich.

Central part of triptych.

Last beam. 1997.

Cardboard, tempera

Шадрин Евгений Леонидович.

Род. в 1955 г. Художник промышленной графики, педагог.

Окончил Ленинградское высшее художественно-промышленное училище им. В. И. Мухомой.

Shadrin Evgeny Leonidovich.

Born in 1955. Industrial graphic artist. Teacher. Graduated from the Leningrad Higher School of Industrial Art named after V. I. Mukhina.

Куйкин Леонид Сергеевич. Род. в 1937 г. Окончил изостудию. Живописец. Вдохновение художник черпает из красот северной природы, поморских деревень, нетронутой чистоты диких северных лесов. Частые поездки в Онежский район, в деревню Малые Карелы, на Соловецкие острова помогли Леониду отразить в живописных работах летние белые ночи, свежесть полярного Белого моря.

Kuikin Leonid Sergeevich. Born in 1937. He graduated from the Art studio. Painter. The artist draws inspiration from the beauties of northern nature, Pomorye villages, untouched purity of wild northern forests. Frequent trips to the Onega region to the village of Malye Karely, to the Solovetsky Islands helped Leonid to reflect the white summer nights, the freshness of the polar White Sea in his paintings.



Куйкин Леонид Сергеевич. Соловецкая обитель. 2003. Холст, масло
Kuikin Leonid Sergeevich. Solovetsky monastery. 2003. Canvas, oil



Короновский Николай Владимирович. Париж. La Place du Chatelet. 1998. Картон, масло
Koronovsky Nikolay Vladimirovich. Paris. La Place du Chatelet. 1998. Cardboard, oil

Короновский Николай Владимирович (1933 – 2023) – геолог, специалист в области геотектоники, магматизма и региональной геологии, профессор МГУ. Любил всегда и везде рисовать: в поле, поездках, экспедициях. Считал, для геолога очень важно умение рисовать геологические структуры, графически выражать свою мысль.

Koronovsky Nikolai Vladimirovich (1933–2023) – geologist, specialist in the field of geotectonics, magmatism and regional geology, professor at Moscow State University. He loved to draw always and everywhere: in the field, trips, expeditions. He thought that it was very important for a geologist to be able to draw geological structures and express thoughts graphically.



Мартюшов Юрий Вячеславович. Зимний лес. 2003. Холст, масло
Martyushov Yuri Vyacheslavovich. Winter forest. 2003. Canvas, oil

Мартюшов Юрий Вячеславович. Род. в 1964 г. Окончил живописно-художественное отделение Екатеринбургского художественного училища. Работает в технике станковой живописи и графики в стилях реализма. Темы его картин – пейзажи.

Martyushov Yuri Vyacheslavovich. Born in 1964. He graduated from the Painting and art department of the Yekaterinburg Art College. He works in the technique of easel painting and graphics in the styles of realism. The themes of his paintings are landscapes.



Горбунов Леонтий Владимирович. Оз. Сары-Челек. 1999. Холст, масло
Gorbunov Leonty Vladimirovich. Sary-Chelek Lake. 1999. Canvas, oil

Горбунов Леонтий Владимирович (1929–2013). Член Союза художников СССР (1979), народный художник Кыргызской Республики (2010). Окончил Фрунзенское художественное училище. График, живописец. Работал преимущественно в акварели. Его произведения находятся в Кыргызском национальном музее изобразительных искусств им. Г. Айтиева, в музеях СНГ, а также в частных собраниях.

Gorbunov Leonty Vladimirovich (1929–2013). Member of the Union of Artists of the USSR (1979). People's Artist of the Kyrgyz Republic (2010). Graduated from the Frunze Art College. Graphic artist, painter. He worked mainly in watercolor. His works are in the Kyrgyz National Museum of Fine Arts named after G. Aitiev, in museums of the CIS, as well as in private collections.



Дмитриев Геннадий Александрович. Начало. 1985. Холст, масло
Dmitriev Gennady Alexandrovich. Beginning. 1985. Canvas, oil

Дмитриев Геннадий Александрович. Род. 1946 г. Заслуженный художник РСФСР (2011), заслуженный работник культуры РК (2000), член Союза художников СССР (1989). Учился в Ростовском художественном училище им. М. В. Грекова. Живописец, мастер пейзажа, портрета, сюжетно-тематической картины. Мир, воссозданный в полотнах Г. Дмитриева, зыбок и изменчив, реальное и нереальное в нем сосуществует и подменяет друг друга.

Dmitriev Gennady Aleksandrovich. Born in 1946. He studied at the Rostov Art College named after M. V. Grekov. Honored Artist of the RSFSR (2011), Honored Worker of Culture of the Komi Republic (2000), member of the Union of Artists of the USSR (1989). Gennady Dmitriev – painter, master of landscape, portrait, subject-thematic painting. The world, recreated in the canvases of G. Dmitriev, is unsteady and changeable, the real and the unreal coexist in it and replace each other.



Кононов Вадим Петрович. Осень на дачах. 2008. Картон, масло
Kononov Vadim Petrovich. Autumn in the countryside. 2008. Cardboard, oil

Кононов Вадим Петрович. Род. в 1940 г. Заслуженный работник Республики Коми (2003), член Союза художников России (1996). Окончил художественно-графический факультет Московского государственного педагогического института им. В. И. Ленина. Педагог. Автор пейзажей, портретов, натюрмортов и сюжетных картин.

Kononov Vadim Petrovich. Born in 1940. Honored Worker of the Komi Republic (2003). Member of the Union of Artists of Russia (1996). He graduated from the Art and graphic faculty of the Moscow State Pedagogical Institute named after V. I. Lenin. Teacher. Author of landscapes, portraits, still-lives and story paintings.



Куликов Вячеслав Михайлович. Натюрморт «Выпечка». 1987. Холст, масло
Kulikov Vyacheslav Mikhailovich. Still-life «Baking». 1987. Canvas, oil

Куликов Вячеслав Михайлович (1939–2011). Заслуженный деятель искусств Коми АССР (1990), член Союза художников СССР (1975). Окончил художественно-графический факультет Московского государственного педагогического института им. В. И. Ленина. Работал в жанрах натюрморта и пейзажа.

Kulikov Vyacheslav Mikhailovich (1939–2011). Honored Artist of the Komi ASSR (1990). Member of the Union of Artists of the USSR (1975). He graduated from the Art and graphic faculty of the Moscow State Pedagogical Institute named after V. I. Lenin. He worked in the genres of still-life and landscape.



Куликов Вячеслав Михайлович. Охотничий натюрморт. 1987. Холст, масло
Kulikov Vyacheslav Mikhailovich. Hunting still-life. 1987. Canvas, oil



Хроника, события, факты. История науки • Chronicle, events, facts. History of Science

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Институт геологии имени академика Н. П. Юшкина
Федерального исследовательского центра
«Коми научный центр Уральского
отделения Российской академии наук»
Совет молодых ученых Института геологии
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
Российское минералогическое общество

Ministry of Science and Higher Education
of the Russian Federation
Institute of geology named after Academician N. P. Yushkin
of the Federal Research Center
"Komi Scientific Center of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences"
Council of Young Scientists of the Institute
of Geology FRC Komi SC UB RAS
Russian Mineralogical Society



21–23 ноября 2023 года
в г. Сыктывкаре состоится
Всероссийская научная конференция
**«СТРУКТУРА, ВЕЩЕСТВО, ИСТОРИЯ
ЛИТОСФЕРЫ ТИМАНО-
СЕВЕРОУРАЛЬСКОГО СЕГМЕНТА»**

All-Russian Scientific Conference
will take place in Syktyvkar
on November 21–23, 2023
**"STRUCTURE, SUBSTANCE, HISTORY
OF LITHOSPHERE OF THE TIMAN-
NORTHERN URAL SEGMENT"**

К участию в научной конференции приглашаются аспиранты, молодые учёные, сотрудники производственных организаций геологического профиля, студенты вузов России и других стран. Мы будем рады видеть также молодых ученых-химиков, физиков, биологов, чьи научные интересы так или иначе связаны с природными и синтетическими материалами, минеральным и органическим сырьем. Возраст участника на момент проведения мероприятия не должен превышать 35 лет. В работе конференции предполагается проведение лекций и обучающих геологических практикумов. Традиционно тематика конференции включает в себя все основные направления наук о Земле.

Postgraduate students, young researchers, employees of geological production organizations, students of universities in Russia and other countries of the world are invited to participate in the scientific conference. We are also glad to meet young chemists, physicists, biologists, whose scientific interests are somehow connected with natural and synthetic materials, mineral and organic raw materials. The age of the participant at the time of the event should not exceed 35. The conference will include lectures and educational geological workshops. Traditionally, conference topics include all main areas of Earth sciences.

Контрольные сроки:

Окончание приема материалов – 23 октября 2023 г.
включительно.
Рассылка программы – 10 ноября 2023 г.
Заезд и регистрация участников – 20 ноября 2023 г.
Открытие конференции – 21 ноября 2023 г.

Deadlines:

Submission – October 23, 2023 incl.
Program mailing – November 10, 2023
Arrival and registration of participants –
November 20, 2023
Opening of the conference – November 21, 2023

Адрес:

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул.
Первомайская, 54

Address:

Institute of geology FRC Komi SC UB RAS
54 Pervomayskaya st., Syktyvkar
167982, Komi Republic

Контакты:

Тел.: (8212) 24-53-53; факс: (8212) 24-09-70

Contacts:

Тел.: +7 (8212) 24-53-53; fax: +7 (8212) 24-09-70

Организационный комитет:

Перовский Игорь Андреевич – к. г.-м. н., председатель;
Вовчина Татьяна Анатольевна – к. г.-м. н., заместитель
председателя; Езимова Юлия Евгеньевна – секретарь
e-mail: juventus-geo@yandex.ru
Подробная информация: <https://geo.komisc.ru>

Organising Committee:

Perovsky Igor – Cand. Sc. (Geol.-Min.), Chairman;
Vovchina Tatyana – Cand. Sc. (Geol.-Min.), Deputy Chairman;
Ezimova Yulia – Secretary
e-mail: juventus-geo@yandex.ru
Detailed information: <https://geo.komisc.ru>

Редакторы издательства:

О. В. Габова, К. В. Ордин (английский)

Компьютерная верстка

Т. В. Хазовой

Свид. о рег. средства массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 31.08.2023. Формат бумаги 60 × 84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 6,5. Тираж 140. Заказ 1205. Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Редакция, издательство, типография: издательско-информационный отдел Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

Адрес: 167982, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 54. Тел.: (8212) 24-51-60. Эл. почта: vestnik@geo.komisc.ru

На обложке использованы фото А. Перетягина, Р. Шайбекова, С. Исаенко, Н. Уляшевой, Ю. Голубевой